

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2 0 0 4 年 1 月 7 日

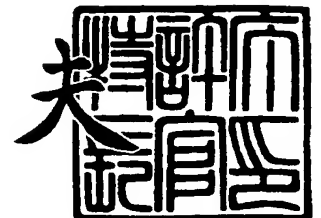
出 願 番 号  
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 0 0 2 2 3 8  
[ST. 10/C]: [ J P 2 0 0 4 - 0 0 2 2 3 8 ]

出 願 人  
Applicant(s): 富士写真フイルム株式会社

2 0 0 4 年 1 月 2 2 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 0 1 7 2 4

【書類名】 特許願  
【整理番号】 P28084JK  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01S 5/00  
【発明者】  
    【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式  
                                会社内  
    【氏名】 山中 英生  
【発明者】  
    【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式  
                                会社内  
    【氏名】 岡崎 洋二  
【発明者】  
    【住所又は居所】 神奈川県足柄上郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士写真フイルム株式  
                                会社内  
    【氏名】 後藤 千秋  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000005201  
    【氏名又は名称】 富士写真フイルム株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100073184  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 柳田 征史  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100090468  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 佐久間 剛  
【先の出願に基づく優先権主張】  
    【出願番号】 特願2003- 22056  
    【出願日】 平成15年 1月30日  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 008969  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 9814441

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

複数の半導体レーザから射出され、互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束となった各光束を、該各光束の伝播方向における互いに異なる位置で各光束のファスト軸の向きを変更して各ファスト軸を同一平面上に並べ、前記ファスト軸が同一平面上に並べられた各光束からなる全体光束を前記スロー軸およびファスト軸方向に収束させて光ファイバに入射させることを特徴とするレーザ光合波方法。

**【請求項 2】**

複数の半導体レーザが、該半導体レーザそれぞれの活性層が同一平面上に並ぶように配置されたレーザブロックと、

前記複数の半導体レーザから射出された各光束を、互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にするコリメート光学系と、

前記平行光束とされた各光束の伝播方向における互いに異なる位置で前記各光束のファスト軸の向きを変更して各ファスト軸が同一平面上に並ぶようにする、前記各光束毎に配置された複数のプリズムからなる光束再配列光学系と、

前記ファスト軸が同一平面上に並べられた光束からなる全体光束を前記スロー軸およびファスト軸方向に収束させて光ファイバに入射させる収束光学系とを備えたことを特徴とするレーザ光合波装置。

**【請求項 3】**

前記コリメート光学系が、トランケート型のレンズであることを特徴とする請求項 1 記載のレーザ光合波装置。

**【請求項 4】**

前記複数の半導体レーザとは異なる他の半導体レーザと、前記複数の半導体レーザによって射出された光束が前記光ファイバに入射するまでの該光束の光路中において、該複数の半導体レーザによって射出された光束と前記他の半導体レーザから射出された光束とを偏光合波させる偏光合波手段とを備え、該他の半導体レーザから射出された光束をも前記光ファイバに入射させることを特徴とする請求項 2 または 3 記載のレーザ光合波装置。

**【請求項 5】**

前記複数の半導体レーザとは異なる他の半導体レーザと、前記複数の半導体レーザによって射出された光束が前記光ファイバに入射するまでの該光束の光路中において、該複数の半導体レーザによって射出された光束と前記他の半導体レーザから射出された光束とを波長合波させる波長合波手段とを備え、該他の半導体レーザから射出された光束をも前記光ファイバに入射させることを特徴とする請求項 2 または 3 記載のレーザ光合波装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】レーザ光合波装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ光合波装置に関し、詳しくは、複数の半導体レーザから射出された各レーザ光束からなる全体光束を収束させて光ファイバに入射させるレーザ光合波装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来より、1方向に並べられた複数の半導体レーザから射出されたレーザ光の各光束をコリメートレンズを通して1方向に並ぶ互いに平行な光軸を有する平行光束とし、このように並べられた各光束の全体を集光させて1本の光ファイバに入射させエネルギー密度の高いレーザ光を光ファイバ中に伝播させる手法（例えば、特許文献1）が知られている。

【0003】

また、上記1方向に光軸が並べられた複数の光束の全体を収束させる際には、各光束のファスト軸が同一平面上に並ぶようにすると上記光束の全体を小さく絞り込むことができることが知られている。すなわち、各半導体レーザから射出されたレーザ光束はこの半導体レーザの活性層の厚み方向にファスト軸を持ち、上記厚み方向と直交する活性層の表面に対して平行な方向にスロー軸を持つが、上記光束はファスト軸方向に良好な波面を有しこの方向には光束を正確に絞り込むことができるが、スロー軸方向には上記ファスト軸方向ほど良好な波面が形成されないこの方向には光束を上記ファスト軸方向ほど正確に絞り込むことができない。

【0004】

また、複数のレーザ光を発生させる手法として同一基板上に複数の半導体レーザが並ぶように形成する手法が知られており、このようにして形成された半導体レーザは活性層の表面が基板表面と平行になるように形成されるので、同一基板上に並べて形成された複数の半導体レーザから射出された光束は同一平面上にスロー軸が並ぶものとなる。そのため、上記基板を用いて複数の光束を高い結合効率で1本の光ファイバ中に合波させるには、上記同一平面上にスロー軸が並ぶ光束を同一平面上にファスト軸が並ぶ光束となるように変換してから光束の全体を収束させる必要があり、上記光束の軸方向の並び替え（以後、光束再配列という）を行なう手法として、例えば、特許文献2、特許文献3、特許文献4等が知られている。なお、上記結合効率は、複数の半導体レーザから射出された各光束を1本の光ファイバ中に合波させる際の光の利用効率である。

【0005】

上記特許文献2によれば、同一方向に複数並ぶ光束の伝播方向と直交する方向に各光束に対応させて並べられたプリズムを通して上記光束再配列を実施している。また、特許文献3によれば、各光束を金属製のブロック上に多数形成された反射ミラーで反射させて上記光束再配列を実施している。また、特許文献4によれば1つのプリズム内で各光束を多数回反射させて上記光束再配列を実施している。

【特許文献1】特開平2002-202442号公報

【特許文献2】米国特許第5513201号明細書

【特許文献3】米国特許第5808323号明細書

【特許文献4】米国特許第6028722号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献2に示されるように、複数並ぶ光束の伝播方向と直交する方向に各光束に対応させてプリズムを並べて上記光束再配列を実施する場合には、各プリズムの配置に合わせて光束の間隔を広げる必要があり各光束の間隔を接近させた状態でこれらの光束を各プリズムに入射させることが難しいので、基板上に形成される半導体レーザの

間隔を広げる等のことにより装置サイズが大きくなったり、後述する空間利用効率が低下して上記光束の光ファイバへの結合効率が低下したりするという問題がある。

#### 【0007】

また、一般に、レーザ光を効率良く利用しようとする場合には、このレーザ光を反射させる反射面に高反射コートを施すことが前提となるが、上記特許文献3に示されるような金属製のブロック上に多数形成された複雑な形状の反射面に高反射コートを施したり、特許文献2、特許文献4中に示される複雑な形状のプリズムに高反射コートを施したりすることが難しく、上記高反射コートを反射面に施されていない伝播光路中ではレーザ光の光量損失が大きくなりレーザ光の利用効率が低下するという問題がある。特に、特許文献4に示されるように、プリズム内で光束を多数回（例えば5回以上）反射させるような場合にはレーザ光の光量損失がさらに大きくなる。

#### 【0008】

以下、上記空間利用効率について図28、図29および図30を参照して具体的に説明する。図28はレーザ光合波装置の概略構成を示す図であり、図28(a)は上記レーザ光合波装置を上方から見た平面図、図28(b)はレーザ光合波装置を半導体レーザが並ぶ方向から見た図、図28(c)はレーザ光合波装置を光束の光軸方向から見た図である。図29は光束が再配列され合波される様子を示す図であり、図29(a)は光束再配列光学系が各光束の軸方向を再配列する様子を示す図、図29(b)は各光束が光ファイバに合波される様子を示す図である。図30は光束再配列光学系を構成する各プリズムの配置を示す斜視図である。なお、図28(c)ではコリメート光学系を省略している。

#### 【0009】

上記レーザ光合波装置は、5つの半導体レーザ71A、71B、71C…が、各半導体レーザそれぞれの活性層72A、72B、72C…が同一平面上の図中矢印Y方向に並ぶように配置されたレーザブロック70と、上記各半導体レーザから射出され図中矢印Z方向に伝播される各光束La、Lb、Lc…を、互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にするコリメート光学系75と、光束の伝播方向と直交する方向に各光束La、Lb、Lc…毎に配置された5つのプリズム81A、81B、81C…からなる光束再配列光学系80と、ファスト軸が同一平面上に並べられた上記光束からなる全体光束をスロー軸およびファスト軸方向に収束させて光ファイバ40に入射させる収束光学系85とを備えている。

#### 【0010】

コリメート光学系75は、各光束毎に配置されたコリメートレンズ76A、76B、76C…から構成されている。

#### 【0011】

なお、上記光束再配列光学系80は、コリメート光学系75により平行光束とされた各光束La、Lb、Lc…のX方向と一致するファスト軸Fの向きを変更して各ファスト軸FがY方向と一致する向きで同一平面上に並ぶようにするものである。

#### 【0012】

半導体レーザ71から射出された各光束La、Lb、Lc…は、コリメート光学系75により互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束とされ、各光束La、Lb、Lc…それぞれは、プリズム81A、81B、81C…を通してファスト軸がY方向と一致する同一平面上に並ぶように再配列される（図29(a)参照）。上記再配列された各光束からなる全体光束は、収束光学系85を通してファスト軸F方向およびスロー軸S方向の幅が狭くなるように収束され、光ファイバ40のコア部41に入射される（図29(b)参照）。

#### 【0013】

ここで、上記半導体レーザから射出された光束は、スロー軸方向に比してファスト軸方向に品質良く絞込むことができるので上記ファスト軸方向に並ぶ5つの光束を光ファイバ40のコア部41に高い結合効率で結合させることができる。

#### 【0014】

また、上記各プリズム 81A、81B、81C…が、図30に示すように、三角柱形状の三角柱プリズム部 J1、J2、J3を組み合わせたものであるとすると、各光束は各個別のプリズムにおける三角柱プリズム部 J1から入射し、三角柱プリズム部 J1反射されて Y 方向に光路がシフトされた後、三角柱プリズム部 J2、J3で反射されて三角柱プリズム部 J3から射出される。そのため、各プリズム 81A、81B、81Cが配置される際に、各個別のプリズムの三角柱プリズム部 J3の間に三角柱プリズム部 J1が配置される空間が必要であり、光束が射出される三角柱プリズム部 J3同士を隣接して配置することができない。その結果、光束再配列光学系 80から射出された各光束 La、Lb、Lc…の間に間隙 Gが生じた状態で各光束からなる全体光束が収束される。

#### 【0015】

ここで、各コリメートレンズ 76A、76B、76C…の焦点距離を  $f_1$ 、開口数を  $NA_1$ 、収束光学系 85の焦点距離を  $f_2$ 、光ファイバ 40の開口数を  $NA_2$ 、空間利用率を  $\eta$ とすると、レンズ系の倍率  $M$ 、つまり半導体レーザ 71A、71B、71C…の各発光点である活性層の大きさに対する、光ファイバ 40のコア部 41の端面上における各光束 La、Lb、Lc…の収束点の大きさの比が下記式 (1) で与えられる。

#### 【0016】

なお、 $N$ は合波本数である。また、上記空間利用率  $\eta$ は、各光束 La、Lb、Lc…からなる全体光束が占める空間中、すなわち光束 Laと光束 Leとで挟まれる空間中における各光束 La、Lb、Lc…の光路が占める割合によって規定されるものであり、各光束 La、Lb、Lc…が互いに完全密接する状態においては  $\eta = 1$  である。

#### 【0017】

上記の条件下では、

#### 【数 1】

$$M = \frac{f_2}{f_1} = \frac{NA_1}{\left(\frac{NA_2}{N} \times \eta\right)} = \frac{NA_1}{NA_2} \times \frac{N}{\eta} \quad \dots (1)$$

#### 【0018】

この式から明らかな通り、空間利用率  $\eta$ が大きくなるほど倍率  $M$ は低下する。そして倍率  $M$ が小さくなるほど、半導体レーザ 71A、71B、71C…、収束光学系 85および光ファイバ 40の相対位置関係がずれた際に、各光束 La、Lb、Lc…が光ファイバ 40のコア部 41の端面上で移動する距離が小さくなるので、各光束をより正確に合波させることができる。

#### 【0019】

したがって、再配列された各光束の間に間隙が生じた状態で各光束からなる全体光束が収束されると空間利用率  $\eta$ が低下して光束を正確に合波させることが難しくなるので、上記光束の光ファイバへの結合効率が低下する。

#### 【0020】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、装置サイズの増大を抑え、かつ、レーザ光の利用効率を低下させることなく光束の全体を高い結合効率で合波させることができるレーザ光合波装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

#### 【0021】

本発明のレーザ光合波方法は、複数の半導体レーザから射出され、互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束となった各光束を、各光束の伝播方向における互いに異なる位置で各光束のファスト軸の向きを変更して各ファスト軸を同一平面上に並べ、このファスト軸が同一平面上に並べられた各光束からなる全体光束をスロー軸およ

びファスト軸方向に収束させて光ファイバに入射させることを特徴とするものである。

【0022】

本発明のレーザ光合波装置は、複数の半導体レーザが、該半導体レーザそれぞれの活性層が同一平面上に並ぶように配置されたレーザブロックと、前記複数の半導体レーザから射出された各光束を、互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にするコリメート光学系と、前記平行光束とされた各光束の伝播方向における互いに異なる位置で各光束のファスト軸の向きを変更して各ファスト軸が同一平面上に並ぶようにする、各光束毎に配置された複数のプリズムからなる光束再配列光学系と、前記ファスト軸が同一平面上に並べられた各光束からなる全体光束をスロー軸およびファスト軸方向に収束させて光ファイバに入射させる収束光学系とを備えたことを特徴とするものである。

【0023】

前記コリメート光学系は、ランケート型のレンズとすることができる。

【0024】

なお、ランケート型のレンズとは、複数のレンズをこれらのレンズの光軸方向と交わる方向に並べて配置する場合において、レンズが並ぶ方向における各レンズの寸法を円形の状態から上記レンズが並ぶ方向に詰めて、一定寸法内により多くのレンズが並ぶように配置したレンズを意味する。

【0025】

前記レーザ光合波装置は、複数の半導体レーザとは異なる他の半導体レーザと、複数の半導体レーザによって射出された光束が光ファイバに入射するまでの光束の光路中において、複数の半導体レーザによって射出された光束と前記他の半導体レーザから射出された光束とを偏光合波させる偏光合波手段とを備え、他の半導体レーザから射出された光束をも光ファイバに入射させるようにすることができる。

【0026】

前記レーザ光合波装置は、複数の半導体レーザとは異なる他の半導体レーザと、複数の半導体レーザによって射出された光束が光ファイバに入射するまでの光束の光路中において、複数の半導体レーザによって射出された光束と前記他の半導体レーザから射出された光束とを波長合波させる波長合波手段とを備え、他の半導体レーザから射出された光束をも光ファイバに入射させるようにすることができる。

【0027】

また、前記互いに平行な光軸とは、実質的に平行な光軸であればよく完全に平行な光軸であることを要求するものではない。また、前記平行光束も実質的に平行光束とみなされる光束であればよい。また、上記同一平面上とは、実質的に同一平面上であればよく完全に同一平面上であることを要求するものではない。

【0028】

なお、前記コリメート光学系、光束再配列光学系、および収束光学系の役割は完全に分離されている場合に限らず、互いの機能の一部を兼用するようにしてもよい。例えば、光束再配列光学系が、上記光束を、ファスト軸方向の幅が狭くなるように収束させる機能の一部を有するものであってもよいし、あるいは、コリメート光学系が、上記光束を、スロー軸方向の幅が狭くなるように収束させる収束光学系の機能の一部を有するものであってもよい。

【発明の効果】

【0029】

本発明のレーザ光合方法は、複数の半導体レーザから射出され、互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束となった各光束を、各光束の伝播方向における互いに異なる位置で各光束のファスト軸の向きを変更して各ファスト軸を同一平面上に並べ、このファスト軸が同一平面上に並べられた各光束からなる全体光束をスロー軸およびファスト軸方向に収束させて光ファイバに入射させるようにしたので、各光束の間隔が接近した状態において各光束のファスト軸の向きを変更する場合において、各光束のファスト軸の向きの変更に必要なスペースの干渉を防止することができるので、各光束の互いの

間隔を狭めることができ、各光束間の間隔の広がりによるレーザ光の利用効率の低下を生じさせることなく光束の全体を高い結合効率で光ファイバに入射させることができるとともに、装置サイズの増大を抑えることができる。

#### 【0030】

本発明のレーザ光合波装置は、複数の半導体レーザが、各半導体レーザそれぞれの活性層が同一平面上に並ぶように配置されたレーザブロックと、上記半導体レーザから射出された各光束を、互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にするコリメート光学系と、各光束毎に配置された複数のプリズムからなり、平行光束とされた各光束の伝播方向における互いに異なる位置で各光束のファスト軸の向きを変更して各ファスト軸が同一平面上に並ぶようにする光束再配列光学系と、上記ファスト軸が同一平面上に並べられた光束からなる全体光束をスロー軸およびファスト軸方向に収束させて光ファイバに入射させる収束光学系とを備えているので、装置サイズの増大を抑え、かつ、レーザ光の利用効率を低下させることなく光束の全体を高い結合効率で合波させることができる。

#### 【0031】

すなわち、光束再配列光学系が各光束毎に配置された複数のプリズムからなるので、これらのプリズムを例えば単純な三角柱形状プリズムの組合せ等で構成することができるので、高反射コートを容易に施すことができ、また、プリズム内での反射回数も少なくすることができるので（例えば3回以下）、光束の伝播光路中における光量損失を少なくすることができる。これとともに、平行光束とされた各光束の伝播方向における互いに異なる位置で光束再配列を行なうので各光束の間隔を接近させた状態で各プリズムに各光束を入射したり各プリズムから各光束を射出させたりすることができるので装置サイズを増大させることもない。また、各光束の間隔を接近させて各プリズムに入射させることは、上記空間利用効率 $\eta$ を大きくすることとなり、上記式(1)における倍率Mを低下させることができるので、レーザ光の利用効率を低下させることなく光束の全体を高い結合効率で合波させることができる。

#### 【0032】

また、本発明のレーザ光合波装置は、特に波長450nm以下の波長を持つレーザ光を合波する際に顕著な効果を奏することができる。なぜならば、光束再配列光学系を単純な形状の組み合わせによる製作容易な構造とすることができるので、この光束再配列光学系におけるレーザ光を反射させる反射面に短波長領域の光を高い反射率で反射させる高反射コート膜を容易に形成することができ、これにより、上記レーザ光合波装置を高出力レーザ装置として不可欠な、レーザ光に対する高い透過率特性を有するものとして行うことができる。

#### 【0033】

また、レーザ光合波装置を、前記複数の半導体レーザによって射出された光束と他の半導体レーザから射出された光束とを偏光合波させる偏光合波手段、あるいは波長合波させる波長合波手段を備えるようにし、他の半導体レーザから射出された光束をも光ファイバに入射させるようにすれば、光ファイバ中に入射させ合波させることができるレーザ光のパワーをより高めることができる。

#### 【発明を実施するための代表的な形態】

#### 【0034】

以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。図1は本発明の第1の実施の形態におけるレーザ光合波装置の概略構成を示す図であり、図1(a)は上記レーザ光合波装置を上方から見た平面図、図1(b)はレーザ光合波装置を半導体レーザが並ぶ方向から見た図、図1(c)はレーザ光合波装置を光束の光軸方向から見た図である。図2は半導体レーザの活性層からレーザ光束が射出される様子を示す斜視図、図3は光束再配列光学系を構成するプリズムを示す斜視図、図4は光束が再配列され合波される様子を示す図であり、図4(a)は光束再配列光学系が各光束の軸方向を再配列する様子を示す図、図4(b)は各光束が光ファイバに合波される様子を示す図である。図5は収束角変



換光学系を3方向から見た図であり、図5(a)は収束角変換光学系をZ方向から見た図、図5(b)は収束角変換光学系をY方向から見た図、図5(c)は収束角変換光学系をX方向から見た図である。図6は収束光学系が全体光束を収束させる様子を示す図であり、図6(a)は全体光束をスロー軸方向の幅が狭くなるように収束させる様子を示す図、図6(b)は全体光束をファスト軸方向の幅が狭くなるように収束させる様子を示す図である。なお、図1(c)ではコリメート光学系を省略している。

#### 【0035】

本発明のレーザ光合波装置は、複数の半導体レーザ11A、11B、11C…(以後、まとめて半導体レーザ11ともいう)が、各半導体レーザ11それぞれの活性層12A、12B、12C…(以後、まとめて活性層12ともいう)が同一平面上の図中矢印Y方向に並ぶように配置されたレーザブロック10と、各半導体レーザ11から射出され図中矢印Z方向に伝播される各光束La、Lb、Lc…を、Z方向に互いに平行な光軸を持ち同一平面H1上にスロー軸(図中矢印Sでスロー軸方向を示す)を有する平行光束にするコリメート光学系20と、上記平行光束とされた各光束の伝播方向における互いに異なる位置で上記各光束のファスト軸(図中矢印Fでファスト軸方向を示す)の向きを変更して各ファスト軸が同一平面上に並ぶようにする光束再配列光学系30と、ファスト軸が同一平面上に並べられた上記光束からなる全体光束をスロー軸およびファスト軸方向に収束させて光ファイバ40に入射させる収束光学系25とを備えている。なお、光束再配列光学系30は各光束La、Lb、Lc…毎に配置されたプリズム31A、31B、31C…(以後、まとめてプリズム31ともいう)からなるものである。

#### 【0036】

上記各半導体レーザ11は、出力1W、発振波長400～420nmのエッジエミッタ型の窒化物系半導体レーザであり、図2に示すように、ファスト軸F方向の発光幅Df=0.5μm、スロー軸S方向の発光幅Ds=25μmである。また、各半導体レーザ11から射出される光束のファスト軸F方向の実効的な開口数NA(f)は0.46で、スロー軸S方向の実効的な開口数NA(s)は0.2である。なお、ここでいうファスト軸F方向は、エッジエミッタ型半導体レーザの活性層の厚み方向、スロー軸S方向は上記活性層の表面に対して平行な方向であり、ファスト軸F方向とスロー軸S方向とは互いに直交している。なお、上記レーザブロック10は、5つの半導体レーザ11A、11B、11C、11D、11Eを有するものである。

#### 【0037】

コリメート光学系20は、各光束La、Lb、Lc…毎に配置されたコリメートレンズ21A、21B、21Cから構成されるランケート型のレンズであり、各コリメートレンズ21A、21B、21C…の焦点距離は3mm、開口数NAは0.6である。また、各コリメートレンズ21A、21B、21C…でコリメートされた各平行光束の断面形状はファスト軸F方向の幅Ufが2.8mm、スロー軸S方向の幅Usが1.2mmの楕円形状となる。

#### 【0038】

光束再配列光学系30を構成する各プリズム31A、31B、31C…のそれぞれは、図3に示すように、3つの単純な三角柱形状からなる三角柱プリズム部P1、P2、P3が組み合わされた形状を有するものであり、ファスト軸Fの方向が図中X方向と一致するように入射された光束を、各プリズム部P1、P2、P3で1回ずつ合計3回反射してファスト軸Fの方向がY方向に一致する方向となるように変換して射出する。すなわち、図4(a)に示すように、この光束再配列光学系30は、同一平面H1上のY方向にスロー軸が並ぶようにして入射された各光束La、Lb、Lc…を、同一平面上のY方向にファスト軸Fが並ぶ光束となるように再配列する。なお、上記X方向、Y方向、Z方向は互いに直交する方向である。図6に、光束再配列光学系30をZ軸方向から見た図(図5(a))、Y軸方向から見た図(図5(b))、軸方向から見た図(図5(c))を示す。

#### 【0039】

なお、上記光束を反射する各プリズム部P1、P2、P3の3つの面には反射率99.

5%以上の高反射コートが施され、上記光束の入射面および射出面には反射率を0.5%以下に抑える反射防止コートが施されている。

【0040】

収束光学系25は、図6に示すように、光束再配列光学系30から射出された各光束La、Lb、Lc…からなる全体光束を、ファスト軸F方向（ここではY方向）の幅が狭くなるように収束させる収束Fレンズ26、および上記全体光束を、スロー軸S方向（ここではX方向）の幅が狭くなるように収束させる収束Sレンズ27とからなり、各光束La、Lb、Lc…を光ファイバ40のコア部41の端面に合波させる（図4（b）参照）。

【0041】

また、光ファイバ40のコア部41の直径は $50\mu\text{m}$ で、開口数NAは0.2である。

【0042】

次に上記実施の形態における作用について説明する。

【0043】

半導体レーザ11から射出された各光束La、Lb、Lc…は、コリメート光学系20により互いに平行な光軸を持ち同一平面H1上にスロー軸Sを有する平行光束にされる。上記平行光束とされた各光束La、Lb、Lc…は、プリズム31A、31B、31C…のそれぞれを通して各光束La、Lb、Lc…のファスト軸が同一平面上に並ぶように再配列される（図4参照）。ここで、互いに隣り合う光束同士が干渉することなく光束の再配列が実施されて、各光束が互いに密接配置された空間利用効率が高い全体光束が生成される。

【0044】

光束再配列光学系30から射出されたファスト軸が同一平面上に並ぶように再配列された各光束からなる全体光束は、収束Fレンズ26を通してファスト軸F方向の幅が狭くなるようにYZ平面において収束されるとともに、収束Sレンズ27を通してスロー軸S方向に幅が狭くなるようにXZ平面において収束され、光ファイバ40の直径 $50\mu\text{m}$ のコア部41に入射される。

【0045】

ここで、上記半導体レーザから射出された光束は、スロー軸方向に比してファスト軸方向に品質良く絞込むことができるので上記ファスト軸方向に並ぶ5つの光束La、Lb、Lc、Ld、Leを光ファイバ40のコア部41に高い結合効率で結合させることができる。

【0046】

上記のことで、5つの半導体レーザ11A、11B、11C…から射出された各1Wの出力を有する光束が光ファイバ40のコア部41に合波され、コア部41から4.5Wのレーザ光を出力させることができる。すなわち、5本のレーザ光束が結合効率は90%で光ファイバに結合される。

【0047】

ここで、上記装置による合波の性能について説明する。

【0048】

○ファスト軸方向の合波の性能（図6（b）参照）

収束Fレンズ26は、YZ平面において光ファイバと同じ、開口数 $NA=0.2$ となっている。すなわち、コリメート光学系側から1光束あたりの $NA=0.46$ 程度の広がり角で各光束La、Lb、Lc…が入射され、これらの光束5本が、 $NA=0.2$ の光ファイバに入射されるように、 $NA=0.2$ を5分割されるので、半導体レーザ11から光ファイバ40への光学系の拡大率は、 $0.46 / (0.2 / 5) = 11.5$ 倍となる。

【0049】

したがって、収束Fレンズ26はファスト軸方向に11.5倍の拡大率を有するものとなるため、ファスト軸方向の焦点距離Ffとして34.5mm（すなわち、3mm（各コリメートレンズの焦点距離） $\times 11.5$ （倍率） $= 34.5\text{mm}$ ）が必要となる。

【0050】

また、上記ファスト軸方向の集光における回折による光束のボケ（広がり）は下記式で与えられる。

【0051】

$$\Delta s = (4/\pi) \times \lambda \times Ff / Tf$$

ここで、

$\lambda$ ：合波される光束の波長

$Ff$ ：収束される側のファスト軸方向の焦点距離

$Tf$ ：全体光束のファスト軸方向の幅

したがって、波長 $\lambda = 0.4 \mu\text{m}$ 、 $Ff = 34.5 \text{ mm}$ 、 $Tf = 3.1 \text{ mm}$ として、ファスト軸方向の光束のボケ（広がり） $\Delta s$ は約 $5.7 \mu\text{m}$ となり、集光された光束は、ファスト軸方向に $11.5 \mu\text{m}$ （ $0.5 \times 11.5 \mu\text{m} + 5.7 \mu\text{m} = 11.5 \mu\text{m}$ ）程度の広がりを持つものとなる。

【0052】

○スロー軸方向の合波の性能（図6（a）参照）

収束Sレンズ27は、XZ平面において光ファイバ40と同じ、開口数 $NA = 0.2$ となっている。すなわち、コリメート光学系側から5本の光束のスロー軸SがY方向に重ねられた状態で全体光束となり、 $NA = 0.2$ 程度の広がり角で入射されている。その後、この全体光束は $NA = 0.2$ の光ファイバに入射されるので、半導体レーザ11から光ファイバ40への光学系の拡大率は $0.2/0.2 = 1$ 倍となる。

【0053】

したがって、この収束Sレンズ27はスロー軸方向に1倍の拡大率を持つものとなるため、スロー軸方向の焦点距離 $Fs$ として $3 \text{ mm}$ （すなわち、 $3 \text{ mm}$ （各コリメートレンズの焦点距離） $\times 1$ （倍率） $= 3 \text{ mm}$ ）が必要となる。

【0054】

また、上記スロー軸方向の集光における回折による光束のボケ（広がり）は下記式で与えられる。

【0055】

$$\Delta s = (4/\pi) \times \lambda \times Fs / Ts$$

ここで、

$\lambda$ ：合波される光束の波長

$Fs$ ：収束される側のスロー軸方向の焦点距離

$Ts$ ：全体光束のスロー軸方向の幅

したがって、波長 $\lambda = 0.4 \mu\text{m}$ 、 $Fs = 3 \text{ mm}$ 、 $Ts = 1.2 \text{ mm}$ として、スロー軸方向の光束のボケ（広がり） $\Delta s$ は約 $1.3 \mu\text{m}$ となり、集光された光束は、スロー軸方向に $26.3 \mu\text{m}$ （ $25 \mu\text{m} + 1.3 \mu\text{m} = 26.3 \mu\text{m}$ ）程度の広がりを持つものとなる。

【0056】

ここで、光ファイバ40のコア部41上に合波された5本の光束は、短軸方向の幅（ファスト軸方向でありY方向である幅）が約 $11.5 \mu\text{m}$ 、で、長軸方向の幅（スロー軸方向でありX方向である幅）が約 $26.3 \mu\text{m}$ 、の楕円形状となる（図4（b）参照）。

【0057】

上記のことから、回折による光束のボケを考慮しても、光ファイバの端面において収束される光束の直径は $30 \mu\text{m}$ 以下であり、光ファイバのコア部の直径 $Dc = 50 \mu\text{m}$ に対して小さく、高い結合効率で光束を光ファイバに結合させることができる。

【0058】

なお、レーザ光合波装置の装置サイズを決める最大要因として、各光学要素を収容するための収容容積が重要となるが、上記レーザ光合波装置の光束の進行方向における寸法は、コリメートレンズの焦点距離が $3 \text{ mm}$ 、収束光学系の焦点距離が $34.5 \text{ mm}$ であるので、その他の部品を含めても装置全体の長さを $50 \text{ mm}$ 以内に収めることができ小型化が可能である。

## 【0059】

また、光束再配列光学系を以下のような構成にしてもよい。図7は上記と異なる光束再配列光学系の概略構成を示す平面図、図8は上記光束再配列光学系を構成する個別のプリズムを示す斜視図、図9は光束が再配列され合波される様子を示す図であり、図9(a)は各光束が光束再配列光学系に入射される様子を示す図、図9(b)は各光束が光束再配列光学系から射出される様子を示す図、図9(c)は各光束が光ファイバに合波される様子を示す図である。

## 【0060】

図7、図8および図9に示すように、光束再配列光学系50を構成する各プリズム51A、51B、51C…のそれぞれは、2つの単純な四角柱形状からなる四角柱プリズム部P11、P12が組み合わされた形状であり、各プリズム51A、51B、51C…が、スロー軸Sの方向が図中Y方向と一致するように入射された光束を、四角柱プリズム部P11、P12それぞれで1回ずつ合計2回反射させてファスト軸Fの方向がZ方向と一致するように変換して射出させる。

## 【0061】

これにより、半導体レーザ11から射出されコリメート光学系20により互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸Sを有する平行光束に変換された各光束La、Lb、Lc…は各プリズム51A、51B、51C…に入射され(図9(a)参照)、プリズム51A、51B、51C…のそれぞれを通して各光束La、Lb、Lc…のファスト軸が同一平面上に並ぶように再配列されて各プリズム51A、51B、51C…から射出される(図9(b)参照)。ここで、互いに隣り合う光束同士が干渉することなく光束の再配列が実施されて、密接配置された光束からなる空間利用効率が高い全体光束が生成される。

## 【0062】

光束再配列光学系30から射出されたファスト軸が同一平面上に並ぶように再配列された各光束からなる全体光束は、収束光学系25を通してファスト軸F方向の幅が狭くなるように収束されるとともに、スロー軸S方向にも幅が狭くなるように収束され、光ファイバ40の直径50 $\mu$ mのコア部41に入射され合波される(図9(c)参照)。

## 【0063】

なお、光束再配列光学系50への光束の入射方向(Z方向)と、この光束再配列光学系50からの光束の射出方向とが互いに異なる方向(Y方向)となるので、各プリズム51A、51B、51C…のそれぞれの入射面55A、55B、55C…のY方向(スロー軸S方向)の幅Ns(図9(a)参照)は、各プリズム51A、51B、51C…のそれぞれの射出面56A、56B、56C…のZ方向(ファスト軸F方向)の幅Nf(図9(b)参照)に制限されることなく定めることができ、上記各入射面55A、55B、55C…へ入射する光束のスロー軸S方向の幅と上記入射面55A、55B、55C…の幅Nsとを概略同等の幅とすることができるので、光束再配列光学系50に入射される互いに隣り合う光束の間隔をさらにさらに狭めることができる。これにより、レーザブロックやコリメータレンズの寸法をY方向にさらに小さくすることができ、レーザ光合波装置のさらなる小型化が可能である。

## 【0064】

以下、レーザ光合波装置の種々の実施例について説明する。

## 【0065】

まず、はじめに、各実施例Ex1～実施例Ex9における共通の機能について説明する。

## 【0066】

後述する図10から図26に示すように、5つの半導体レーザが配置されたレーザブロック111B～112B、および115B～119Bと、10個の半導体レーザが配置されたレーザブロック113Bおよび114Bとは、いずれも、レーザブロック毎に、各半導体レーザそれぞれの活性層が同一平面上に配置されて、各半導体レーザから射出されたときの各光束は同一平面上に互いに平行なスロー軸を有する光束となる。

## 【0067】

なお、上記各半導体レーザは、出力1W、発振波長400～420nmのエッジエミッタ型の窒化物系半導体レーザであり、ファスト軸方向の発光幅 $D_f = 0.5 \mu\text{m}$ で、ファスト軸方向の実質的な開口数 $NA(f) = 0.46$ である。また、スロー軸方向の発光幅 $D_s$ は、レーザブロック111B～112Bの場合が $25 \mu\text{m}$ 、レーザブロック113B～115Bの場合が $30 \mu\text{m}$ 、レーザブロック116B～119Bの場合が $50 \mu\text{m}$ であり、スロー軸方向の実質的な開口数 $NA(s)$ はいずれの場合においても0.2である。

## 【0068】

なお、以下の説明で使用する「ファスト軸の方向」および「スロー軸の方向」は、各光束におけるスロー軸およびファスト軸の状態を基準にしている。すなわち、例えば光束の向きが光軸の周りに回転した場合は、「ファスト軸の方向」および「スロー軸の方向」も図中X軸、Y軸、あるいはZ軸に対して回転した方向となる。そのため、光路中の場所によって、X軸、Y軸、およびZ軸それぞれの方向と、上記ファスト軸の方向およびスロー軸の方向との関係が変わる。

## 【0069】

また、図中矢印+X方向の反対方向が-X方向であり、図中矢印+Y方向の反対方向が-Y方向であり、図中矢印+Z方向の反対方向が-Z方向である。

## 【0070】

レーザブロック111B～112B、および115B～119Bに対応して配置されたコリメート光学系111C～112C、および115C～119Cと、レーザブロック113B～114Bに対応して配置されたコリメート光学系113C～114Cとは、トラネケート型のレンズであり、いずれも、各半導体レーザから射出された各光束を、互いに平行な光軸を持ち同一平面上に互いに平行なスロー軸を有する平行光束にするものである。

## 【0071】

上記各コリメート光学系111C～119Cのそれぞれは、焦点距離2.85mm、開口数 $NA = 0.6$ である。また、各コリメート光学系でコリメートされた各平行光束の断面形状はファスト軸方向の幅が2.6mm、スロー軸方向の幅が1.1mmの楕円形状となる。

## 【0072】

光束再配列光学系111R～119Rのそれぞれは、上記コリメート光学系111C～119Cを通して平行光束となった各光束を、各光束の伝播方向における互いに異なる位置で上記各光束のファスト軸の向き（図中矢印Fで示す）を変更して各ファスト軸が互いに平行となり、かつ同一平面上に並ぶようにするものである。光束再配列光学系111R～119Rは入射した各光束を、同一平面上に互いに平行にファスト軸が並ぶ各光束に再配列して射出する。

## 【0073】

なお、上記光束再配列光学系111Rから119Rのそれぞれは、直角2等辺三角柱形状の三角柱プリズム部 $P_t$ 、四角柱透過部 $P_s$ 、波長合波用のダイクロイック・コーティング膜 $C_d$ 、偏光合波用の偏光コーティング膜 $C_p$ 等が組み合わされて構成されたものである。なお、三角柱プリズム部 $P_t$ のうちの光束を反射する反射面 $S_r$ （上記直角2等辺三角形形状の直角部の稜線に対向する面）には反射率99.5%以上の高反射コートが施され、光束の入射面、および射出面となる透過面 $S_t$ （上記直角2等辺三角形形状の2つの等しい長さの辺に対応する面）には反射率を0.5%以下に抑える反射防止コートが施されている。

## 【0074】

上記光束再配列光学系111R～119Rから射出された同一平面上に互いに平行なファスト軸が5本並ぶ各光束を通す収束光学系111F～119Fは、いずれも、ファスト軸が互いに平行となるように並べられて入射した各光束からなる全体光束をスロー軸およびファスト軸方向に収束させて、対応する光ファイバ111L～119Lのそれぞれに入

射させるものである。

#### 【0075】

収束光学系111F~119Fのそれぞれは、上記光束再配列光学系111R~119Rのそれぞれから射出された各光束からなる全体光束を、ファスト軸方向（ここではY方向）の幅が狭くなるように収束させるシリンドリカルレンズである収束Fレンズ111Ff~119Ffのそれぞれ、および上記全体光束を、スロー軸方向（ここではX方向）の幅が狭くなるように収束させるシリンドリカルレンズである収束Sレンズ111Fs~119Fsのそれぞれで構成されたものであり、各光束を光ファイバ111L~119Lそれぞれのコア部の端面に入射させ合波させるものである。

#### 【0076】

各光ファイバ111L~119Lに光が入射する際の実質的な開口数NAは全て0.2であり、光ファイバ111L~112Lのコア部の径は50 $\mu$ m、光ファイバ113L~119Lのコア部の径は60 $\mu$ mである。

#### 【0077】

なお、図27(a)は、実施例Ex1、実施例Ex2、実施例Ex6、実施例Ex7、実施例Ex8、実施例Ex9の各実施例において、各収束光学系111F、112F、116F、117F、118F、119Fに入射するときの各光束の状態を各収束光学系の側から光軸方向に見た図、図27(b)は、実施例Ex3において、収束光学系113Fに入射するときの各光束の状態をこの収束光学系113Fの側から光軸方向に見た図、図27(c)は、実施例Ex4において、収束光学系114Fに入射するときの各光束の状態をこの収束光学系114Fの側から光軸方向に見た図、図27(d)は、実施例Ex5において、収束光学系115Fから射出される各光束の状態をこの収束光学系115Fの側から光軸方向に見た図である。

#### 【0078】

##### <実施例Ex1>

図10は実施例Ex1のレーザ光合波装置101の概略構成を示す図であり、図10(a)は上記レーザ光合波装置の平面図、図10(b)は上記レーザ光合波装置の正面図、図11は光束再配列光学系の個別プリズム部の構成を示す斜視図である。

#### 【0079】

実施例Ex1のレーザ光合波装置101は、上記5つの半導体レーザが配置されたレーザブロック111Bと、上記コリメート光学系111Cと、上記光束再配列光学系111Rと、上記収束光学系111Fと、上記光ファイバ111Lを備えている。

#### 【0080】

なお、上述したように、レーザブロック111Bに配置された5つの半導体レーザのスロー軸方向の発光幅Dsは25 $\mu$ m、収束光学系111Fのファスト軸方向の焦点距離は30mm、スロー軸方向の焦点距離は2.85mm、光ファイバ111Lのコア径は50 $\mu$ mである。

#### 【0081】

光束再配列光学系111Rは、上記図3で説明した3つの三角柱プリズム部Ptが組み合わされて構成された個別プリズム部である個別プリズム部111pを、コリメート光学系111Cを通った5本の各光束に対応させて各光束の伝播方向における互いに異なる位置に1つずつ配置してなるものである。

#### 【0082】

レーザブロック111Bに配置された半導体レーザから図中矢印+Z方向に射出された5本の各光束Lzは、コリメート光学系111Cにより互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にせしめられる。上記平行光束となって図中矢印+Z方向に伝播する各光束Lzは、光束再配列光学系111Rの5つの個別プリズム部111pのそれぞれを通して各光束Lzのファスト軸が互いに平行となり同一平面上に並ぶように再配列される。ここで、互いに隣り合う光束同士が干渉することなく光束の再配列が実施されて、各光束が互いに密接配置された空間利用効率が高い全体光束が生成される。

## 【0083】

なお、+Z方向に伝播して個別プリズム部111pの第1の三角柱プリズム部Ptに入射した光束は、+X方向に向かうように反射されて第2の三角柱プリズム部Ptに入射し、さらに、この光束は第2の三角柱プリズム部Ptで-Y方向に向かうように反射されて第3の三角柱プリズムに入射し、その後、第3の三角柱プリズムで+Z方向に向かうように反射される。

## 【0084】

光束再配列光学系111Rから図中矢印Z方向に向けて射出されたファスト軸が互いに平行で同一平面上に並ぶように再配列された各光束Lzからなる全体光束(図27(a)参照)は、収束Fレンズ111Ffを通してファスト軸方向の幅が狭くなるようにYZ平面において収束されるとともに、収束Sレンズ111Fsを通してスロー軸方向に幅が狭くなるようにXZ平面において収束され、光ファイバ111Lのコア部に入射する。

## 【0085】

ここで、光ファイバ111Lの50 $\mu$ mの径を有するコア部の端面に収束した上記全体光束の集光スポットサイズは、光学系の拡大率から計算した概略値(回折による光束のボケを無視した)で、ファスト軸方向の径が5 $\mu$ m、スロー軸方向の径が25 $\mu$ mとなる。このように、上記半導体レーザから射出された各光束は、スロー軸方向に比してファスト軸方向に品質良く絞り込むことができるので上記各光束Lzからなる全体光束を光ファイバ111Lに高い結合効率、例えば結合効率90%で結合させることができる。

## 【0086】

<実施例Ex2>

図12は実施例Ex2のレーザ光合波装置102の概略構成を示す図であり、図12(a)はレーザ光合波装置の平面図、図12(b)は上記レーザ光合波装置の正面図、図13は光束再配列光学系の個別プリズム部の構成を示す斜視図である。

## 【0087】

実施例Ex2のレーザ光合波装置102は、-Y方向に向けて光束を射出する5つの半導体レーザが配置された上記レーザブロック112Bと、上記コリメート光学系112Cと、上記光束再配列光学系112Rと、上記収束光学系112Fと、上記光ファイバ112Lを備えている。

## 【0088】

なお、上述したように、レーザブロック112Bに配置された5つの半導体レーザのスロー軸方向の発光幅Dsは25 $\mu$ m、収束光学系112Fのファスト軸方向の焦点距離は30mm、スロー軸方向の焦点距離は2.85mm、光ファイバ112Lのコア径は50 $\mu$ mである。

## 【0089】

光束再配列光学系112Rは、2つの三角柱プリズム部Ptが組み合わせられて構成された個別プリズム部112pを、コリメート光学系112Cを通った5本の各光束に対応させて各光束の伝播方向における互いに異なる位置に1つずつ配置してなるものである。

## 【0090】

レーザブロック112Bに配置された半導体レーザから-Y方向に向けて射出された5本の各光束Lzは、コリメート光学系112Cにより互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にせしめられて-Y方向に向けて射出される。上記平行光束となった各光束Lzは、光束再配列光学系112Rの5つの個別プリズム部112pのそれぞれに入射し各光束Lzのファスト軸が同一平面上に並ぶように再配列され+Z方向に向けて射出される。ここで、互いに隣り合う光束同士が干渉することなく光束の再配列が実施されて、各光束が互いに密接配置された空間利用効率が高い全体光束が生成される。

## 【0091】

なお、-Y方向に伝播して個別プリズム部112pの第1の三角柱プリズム部Ptに入射した光束は、+X方向に向かうように反射されて第2の三角柱プリズム部Ptに入射し、さらに、この光束は第2の三角柱プリズム部Ptで+Z方向に向かうように反射される。

**【0092】**

光束再配列光学系 112R から射出されたファスト軸が互いに平行で同一平面上に並ぶように再配列された各光束  $L_z$  からなる全体光束（図 27（a）参照）は、収束 F レンズ 112Ff を通してファスト軸方向の幅が狭くなるように YZ 平面において収束されるとともに、収束 S レンズ 112Fs を通してスロー軸方向に幅が狭くなるように XZ 平面において収束され、光ファイバ 112L のコア部に入射する。

**【0093】**

ここで、光ファイバ 112L の  $50\mu\text{m}$  の径を有するコア部の端面に収束された上記全体光束の集光スポットサイズは、光学系の拡大率から計算した概略値（回折による光束のボケを無視した）で、ファスト軸方向の径が  $5\mu\text{m}$ 、スロー軸方向の径が  $25\mu\text{m}$  となる。このように、上記半導体レーザから射出された各光束は、スロー軸方向に比してファスト軸方向に品質良く絞り込むことができるので上記各光束  $L_z$  からなる全体光束を光ファイバ 112L に高い結合効率、例えば結合効率 90% で結合させることができる。

**【0094】**

<実施例 Ex 3>

図 14 は実施例 Ex 3 のレーザ光合波装置 103 の概略構成を示す図であり、図 14（a）はレーザ光合波装置の平面図、図 14（b）は上記レーザ光合波装置の正面図である。

**【0095】**

実施例 Ex 3 のレーザ光合波装置 103 は、+Z 方向に向けて光束を射出する上記 10 個の半導体レーザが配置されたレーザブロック 113B と、上記コリメート光学系 113C と、上記光束再配列光学系 113R と、上記収束光学系 113F と、上記光ファイバ 113L を備えている。

**【0096】**

なお、上述したように、レーザブロック 113B に配置された 10 個の半導体レーザのスロー軸方向の発光幅  $D_s$  は  $30\mu\text{m}$ 、収束光学系 113F のファスト軸方向の焦点距離は  $60\text{mm}$ 、スロー軸方向の焦点距離は  $2.85\text{mm}$ 、光ファイバ 113L のコア径は  $60\mu\text{m}$  である。

**【0097】**

光束再配列光学系 113R は、上記図 3、および図 11 で説明した 3 つの三角柱プリズム部 Pt が組み合わされて構成された個別プリズム部である個別プリズム部 113p を、コリメート光学系 113C を通った 10 本の各光束に対応させて各光束の伝播方向における互いに異なる位置に 1 つずつ配置してなるものである。

**【0098】**

レーザブロック 113B に配置された半導体レーザから +Z 方向に向けて射出された 10 本の各光束  $L_z$  は、コリメート光学系 113C により互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にせしめられる。上記平行光束となって +Z 方向に向けて射出された各光束  $L_z$  は、上記実施例 Ex 1 と同様に、光束再配列光学系 113R の 10 個の個別プリズム部 113p のそれぞれを通して各光束  $L_z$  のファスト軸が同一平面上に互いに平行に並ぶように再配列されて +Z 方向に向けて射出される。ここで、互いに隣り合う光束同士が干渉することなく光束の再配列が実施されて、各光束が互いに密接配置された空間利用効率が高い全体光束が生成される。

**【0099】**

光束再配列光学系 113R から射出されたファスト軸が互いに平行で同一平面上に並ぶように再配列された各光束  $L_z$  からなる全体光束（図 27（b）参照）は、収束 F レンズ 113Ff を通してファスト軸方向の幅が狭くなるように YZ 平面において収束されるとともに、収束 S レンズ 113Fs を通してスロー軸方向に幅が狭くなるように XZ 平面において収束され、光ファイバ 113L の  $60\mu\text{m}$  の径を有するコア部に入射する。

**【0100】**



ここで、光ファイバ 113L のコア部の端面に収束された上記全体光束の集光スポットサイズは、光学系の拡大率から計算した概略値（回折による光束のボケを無視した）で、ファスト軸方向の径が  $10\ \mu\text{m}$ 、スロー軸方向の径が  $30\ \mu\text{m}$  となる。このように、上記半導体レーザから射出された各光束は、スロー軸方向に比してファスト軸方向に品質良く絞り込むことができるので上記各光束 Lz からなる全体光束を光ファイバ 113L に高い結合効率、例えば結合効率 90% で結合させることができる。

#### 【0101】

##### <実施例 Ex 4>

図 15 は実施例 Ex 4 のレーザ光合波装置 104 の概略構成を示す図であり、図 15 (a) は上記レーザ光合波装置の平面図、図 15 (b) は上記レーザ光合波装置の正面図、図 16 は光束再配列光学系の第 1 の個別プリズム部の構成を示す斜視図、図 17 は光束再配列光学系の第 2 の個別プリズム部の構成を示す斜視図である。

#### 【0102】

実施例 Ex 4 のレーザ光合波装置 104 は、+Z 方向に向けて光束を射出する上記 10 個の半導体レーザが配置されたレーザブロック 114B と、上記コリメート光学系 114C と、上記光束再配列光学系 114R と、上記収束光学系 114F と、上記光ファイバ 114L を備えている。

#### 【0103】

なお、上述したように、レーザブロック 114B に配置された 10 個の半導体レーザそれぞれのスロー軸方向の発光幅  $D_s$  は  $30\ \mu\text{m}$ 、収束光学系 114F のファスト軸方向の焦点距離は  $30\ \text{mm}$ 、スロー軸方向の焦点距離は  $5.9\ \text{mm}$ 、光ファイバ 114L のコア径は  $60\ \mu\text{m}$  である。

#### 【0104】

光束再配列光学系 114R は、図 16 に示すように、4 つの三角柱プリズム部 Pt が組み合わされて構成された 5 つの各第 1 の個別プリズム部 114p1 と、図 17 に示すように、1 つの四角柱透過部 Ps と、この四角柱透過部 Ps を両側から挟む 2 つの三角柱プリズム部 Pt とが組み合わされて構成された 5 つの各第 2 の個別プリズム部 114p2 とを備えている。第 1 の個別プリズム部 114p1 は、図 3、あるいは図 11 に示した個別プリズム部と 1 つの三角柱プリズム部 Pt とを組み合わせたものである。

#### 【0105】

各第 1 の個別プリズム部 114p1 は、コリメート光学系 114C を通った 5 本の各光束に対応させて各光束の伝播方向における互いに異なる位置に 1 つずつ配置されている。各第 2 の個別プリズム部 114p2 は、コリメート光学系 114C を通った上記とは異なる残りの 5 本の各光束に対応させて各光束の伝播方向における互いに異なる位置に 1 つずつ配置されている。

#### 【0106】

レーザブロック 114B に配置された各半導体レーザから +Z 方向に向けて射出された 10 本の各光束 Lz は、コリメート光学系 114C により互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にせしめられ +Z 方向に向けて射出される。上記平行光束となった 10 本の光束のうちの 5 つの光束 Lz1 は、光束再配列光学系 114R の各個別プリズム部 114p1 の上記図 3、あるいは図 11 に示した 3 つの三角柱プリズム部 Pt からなる部分を通して各光束 Lz1 のファスト軸が互いに平行となり同一平面上に並ぶように再配列される。

#### 【0107】

一方、上記コリメート光学系 114C により +Z 方向に向けて射出された上記 5 本の光束 Lz1 とは異なる残りの 5 つの各光束 Lz2 は、光束再配列光学系 114R の各個別プリズム部 114p2 のそれぞれを通して各光束 Lz2 のファスト軸が互いに平行となり同一平面上に並ぶように再配列され -Y 方向に向けて射出される。

#### 【0108】

すなわち、個別プリズム部 114p2 は、+Z 方向に伝播する光束 Lz2 を第 2 の三角

柱プリズム部 P t に入射させて +X 方向に向かうように反射させ、この反射した光束 L z 2 を四角柱透過部 P s を通して第 2 の三角柱プリズム部 P t に入射させて、この第 2 の三角柱プリズム部 P t で -Y 方向に向かうように反射する。上記個別プリズム部 114 p 2 から -Y 方向に向けて射出された各光束 L z 2 は、個別プリズム部 114 p 1 のうちの上記図 3、あるいは図 11 に示した 3 つの三角柱プリズム部 P t からなる部分とは異なる残りの 1 つの三角柱プリズム部 P t で反射されて +Z 方向に向けて射出される。

#### 【0109】

図 16 に示すように、+Z 方向に向けて射出された上記光束 L z 1 と L z 2 とは X 方向の位置が互いに異なるものとなる。

#### 【0110】

このようにして、互いに隣り合う光束同士が干渉することなく光束の再配列が実施されて、各光束が互いに密接配置された空間利用効率が高い全体光束が生成される。

#### 【0111】

上記再配列された 5 つの光束 L z 1 と光束 L z 2 とからなる全体光束は (図 29 (c) 参照)、収束 F レンズ 114 F f を通してファスト軸方向の幅が狭くなるように YZ 平面において収束されるとともに、収束 S レンズ 114 F s を通してスロー軸方向に幅が狭くなるように XZ 平面において収束され、光ファイバ 114 L のコア部に入射する。

#### 【0112】

ここで、光ファイバ 114 L の  $60\mu\text{m}$  の径を有するコア部の端面に収束された上記全体光束の集光スポットサイズは、光学系の拡大率から計算した概略値 (回折による光束のボケを無視した) で、ファスト軸方向の径が  $5\mu\text{m}$ 、スロー軸方向の径が  $60\mu\text{m}$  となる。このように、上記半導体レーザから射出された各光束は、スロー軸方向に比してファスト軸方向に品質良く絞り込むことができるので上記各光束 L z 1 および L z 2 からなる全体光束を光ファイバ 114 L に高い結合効率、例えば結合効率 90% で結合させることができる。

#### 【0113】

#### <実施例 Ex 5>

図 18 は実施例 Ex 5 のレーザ光合波装置 105 の概略構成を示す図であり、図 18 (a) は上記レーザ光合波装置の平面図、図 18 (b) は上記レーザ光合波装置の正面図、図 18 (c) は上記レーザ光合波装置の左側面図、図 19 は光束再配列光学系の第 1 の個別プリズム部の構成を示す斜視図、図 20 は光束再配列光学系の第 2 の個別プリズム部の構成を示す斜視図である。

#### 【0114】

実施例 Ex 5 のレーザ光合波装置 105 は、上記それぞれ 5 個の半導体レーザが配置された互いに対向する第 1 のレーザブロック 115 B 1 および第 2 のレーザブロック 115 B 2 と、上記レーザブロック 115 B 1、115 B 2 のそれぞれに対応させて配置された 2 つのコリメート光学系 115 C 1、115 C 2 と、コリメート光学系 115 C 1、115 C 2 のそれぞれを通った光束を再配列する上記光束再配列光学系 115 R と、上記収束光学系 115 F と、上記光ファイバ 115 L を備えている。なお、第 1 のレーザブロック 115 B 1 は -Y 方向に向けて光束を射出するものであり、第 2 のレーザブロック 115 B 2 は +Y 方向に向けて光束を射出するものである。

#### 【0115】

なお、上述したように、2 つのレーザブロック 115 B 1、115 B 2 のそれぞれに配置された半導体レーザのスロー軸方向の発光幅 D s は  $30\mu\text{m}$ 、収束光学系 115 F のファスト軸方向の焦点距離は 30 mm、スロー軸方向の焦点距離は 5.9 mm、光ファイバ 115 L のコア径は  $60\mu\text{m}$  である。

#### 【0116】

光束再配列光学系 115 R は、図 19 に示すように、1 つの四角柱透過部 P s と、この四角柱透過部 P s を両側から挟む 2 つの三角柱プリズム部 P t とが組み合わされて構成された 5 つの各個別プリズム部 115 p 1 と、図 20 に示すように、2 つの三角柱プリズム

部 P<sub>t</sub> が組み合わされて構成された 5 つの各個別プリズム部 115 p 2 とを備えている。

【0117】

各個別プリズム部 115 p 1 は、一方のレーザブロック 115 B 1 から射出されコリメート光学系 115 C 1 を通った 5 本の各光束の伝播方向における互いに異なる位置に 1 つずつ配置されている。各個別プリズム部 115 p 2 は、レーザブロック 115 B 2 から射出されコリメート光学系 115 C 2 を通った上記とは異なる 5 本の各光束の伝播方向における互いに異なる位置に 1 つずつ配置されている。

【0118】

レーザブロック 115 B 1 に配置された各半導体レーザから -Y 方向に向けて射出された 5 本の各光束 L<sub>z</sub> 1 は、コリメート光学系 115 C 1 により互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にせしめられる。上記平行光束となり -Y 方向に向けて射出された 5 つの光束 L<sub>z</sub> 1 は、光束再配列光学系 115 R の各個別プリズム部 115 p 1 に入射し 2 回反射されて各光束 L<sub>z</sub> 1 のファスト軸が互いに平行となり同一平面上に並ぶように再配列され +Z 方向に射出される。

【0119】

すなわち、個別プリズム部 115 p 1 は、-Y 方向に伝播する光束 L<sub>z</sub> 1 を第 1 の三角柱プリズム部 P<sub>t</sub> に入射させて +X 方向に向かうように反射させ、この反射した光束 L<sub>z</sub> 2 を四角柱透過部 P<sub>s</sub> を通して第 2 の三角柱プリズム部 P<sub>t</sub> に入射させ、この第 2 の三角柱プリズム部 P<sub>t</sub> で +Z 方向に向かうように反射する。

【0120】

一方、レーザブロック 115 B 2 に配置された各半導体レーザから +Y 方向に射出された 5 本の各光束 L<sub>z</sub> 2 は、コリメート光学系 115 C 2 により互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にせしめられる。上記平行光束となった 5 つの各光束 L<sub>z</sub> 2 は、光束再配列光学系 115 R の各個別プリズム部 115 p 2 で 2 回反射されてファスト軸が互いに平行となり同一平面上に並ぶように再配列されて +Z 方向に向けて射出される。

【0121】

すなわち、個別プリズム部 115 p 2 は、+Y 方向に伝播する光束 L<sub>z</sub> 2 を第 1 の三角柱プリズム部 P<sub>t</sub> に入射させて +X 方向に向かうように反射させ、この反射した光束 L<sub>z</sub> 2 を第 2 の三角柱プリズム部 P<sub>t</sub> に入射させて、この第 2 の三角柱プリズム部 P<sub>t</sub> で +Z 方向に向かうように反射する。

【0122】

図 27 に示すように、+Z 方向に向けて射出された上記光束 L<sub>z</sub> 1 と L<sub>z</sub> 2 とは X 方向の位置が互いに異なり、Y 方向に 1 つの光束分ずれた状態に並ぶものとなる。

【0123】

上記各個別プリズム部 115 p 1 から射出された 5 つの光束 L<sub>z</sub> 1 と、上記各個別プリズム部 115 p 2 から射出された 5 つの光束 L<sub>z</sub> 2 とからなる全体光束は、収束 F レンズ 115 F<sub>f</sub> を通してファスト軸方向の幅が狭くなるように YZ 平面において収束されるとともに、収束 S レンズ 115 F<sub>s</sub> を通してスロー軸方向に幅が狭くなるように XZ 平面において収束され、光ファイバ 115 L のコア部に入射する。

【0124】

ここで、光ファイバ 115 L の 60 μm の径を有するコア部の端面に収束された上記全体光束の集光スポットサイズは、光学系の拡大率から計算した概略値（回折による光束のボケを無視した）で、ファスト軸方向の径が 5 μm、スロー軸方向の径が 60 μm となる。このように、上記半導体レーザから射出された各光束は、スロー軸方向に比してファスト軸方向に品質良く絞り込むことができるので上記各光束 L<sub>z</sub> 1、L<sub>z</sub> 2 からなる全体光束を光ファイバ 115 L に高い結合効率、例えば結合効率 90% で結合させることができる。

【0125】

<実施例 Ex 6>

図21は実施例Ex6のレーザ光合波装置106の概略構成を示す図であり、図21(a)は上記レーザ光合波装置の平面図、図21(b)は上記レーザ光合波装置の正面図である。

【0126】

上記実施例Ex6のレーザ光合波装置106は、上記実施例Ex1のレーザ光合波装置101と同様の構成および機能を有する主光学部116Mを備えるとともに、この主光学部116Mに加えて副光学部116Sを備えている。

【0127】

この副光学部116Sは、上記主光学部116Mに配置されている複数の半導体レーザとは異なる他の半導体レーザと、主光学部116Mでの上記複数の半導体レーザによって射出された光束が光ファイバに入射するまでの各光束の光路中に、上記他の半導体レーザから射出された光束を偏光合波させる偏光合波手段とを有するものであり、副光学部116Sに配置された上記他の半導体レーザから射出された光束をも主光学部116Mに配置された上記光ファイバに入射させるものである。

【0128】

主光学部116Mは、上記レーザブロック116Bである+Z方向に向けて光束を射出する5つの半導体レーザが配置されたレーザブロック116B1と、上記コリメート光学系116Cであるコリメート光学系116C1と、上記光束再配列光学系116Rである光束再配列光学系116R1と、上記収束光学系116Fと、上記光ファイバ116Lとを備えている。

【0129】

なお、上記主光学部116Mのレーザブロック116B1、コリメート光学系116C1、光束再配列光学系116R1、収束光学系116F、および光ファイバ116Lのそれぞれは、実施例Ex1のレーザ光合波装置101のレーザブロック111B、コリメート光学系111C、光束再配列光学系111R、収束光学系111F、および光ファイバ111Lのそれぞれと対応するものである。

【0130】

副光学部116Sは、上記レーザブロック116Bである+Z方向に向けて光束を射出する5つの半導体レーザが配置されたレーザブロック116B2と、上記コリメート光学系116Cであるコリメート光学系116C2と、上記光束再配列光学系116Rである光束再配列光学系116R2と、 $1/2\lambda$ 波長板116λと、偏光ビームスプリッタ116Pとを備えている。

【0131】

上記コリメート光学系116C2、光束再配列光学系116R2、 $1/2\lambda$ 波長板116λ、および偏光ビームスプリッタ116Pで構成される偏光合波手段116Gは、レーザブロック116B2の5つの半導体レーザから射出された5本の光束それぞれを、上記レーザブロック116B1から射出されて光ファイバ116Lに入射する主光学部116Mの各光束に合波させるものである。

【0132】

ここでは、上記偏光合波手段116Gの偏光ビームスプリッタ116Pが、主光学部116Mの光束再配列光学系116R1と収束光学系116Fとの間に配置されている。

【0133】

なお、上述したように、レーザブロック116B1およびレーザブロック116B2に配置された5つの半導体レーザそれぞれのスロー軸方向の発光幅Dsは $50\mu\text{m}$ 、収束光学系116Fのファスト軸方向の焦点距離は30mm、スロー軸方向の焦点距離は2.85mm、光ファイバ116Lのコア径は $60\mu\text{m}$ である。

【0134】

実施例Ex1の光束再配列光学系111Rと同様の構成を成す光束再配列光学系116R1および光束再配列光学系116R2のそれぞれは、図11に示す個別プリズム部111pと同様の個別プリズム部を、主光学部116Mおよび副光学部116Sにおける5本

の各光束に対応させて各光束の伝播方向における互いに異なる位置に1つずつ配置してなるものである。

【0135】

次に、主光学部116Mを伝播する光束Lz1の光路に副光学部116Sを伝播する各光束Lz2を合波させる作用について説明する。

【0136】

レーザブロック116B1に配置された半導体レーザから+Z方向に射出された5本の各光束Lz1は、コリメート光学系116C1により互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にせしめられ+Z方向に射出される。上記平行光束となった各光束Lz1は、光束再配列光学系116R1の5つの個別プリズム部のそれぞれを通して各光束Lz1のファスト軸が互いに平行となり同一平面上に並ぶように再配列される。ここで、互いに隣り合う光束Lz1同士が干渉することなく光束の再配列が実施されて、各光束が互いに密接配置された空間利用効率が高い全体光束が生成される。

【0137】

なお、+Z方向に伝播して光束再配列光学系116R1に入射した光束はLz1、この光束再配列光学系116R1から+Z方向に向けて射出され、偏光ビームスプリッタ116Pに入射してビームスプリット面BS1を透過しこの偏光ビームスプリッタ116Pから+Z方向に向けて射出される。

【0138】

偏光ビームスプリッタ116Pから射出された、ファスト軸が互いに平行で同一平面上に並ぶように再配列された各光束Lz1からなる全体光束は、収束光学系116Fに入射し、収束Fレンズ116Ffを通してファスト軸方向の幅が狭くなるようにYZ平面において収束されるとともに、収束Sレンズ116Fsを通してスロー軸方向に幅が狭くなるようにXZ平面において収束され、光ファイバ116Lのコア部に入射する。

【0139】

一方、副光学部116Sでは、レーザブロック116B2に配置された他の5つの半導体レーザから+Y方向に向けて射出された5本の各光束Lz2は、コリメート光学系116C2により互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にせしめられる。上記平行光束となった各光束Lz2は、光束再配列光学系116R2の5つの個別プリズム部のそれぞれを通して各光束Lz2のファスト軸が互いに平行となり同一平面上に並ぶように再配列される。ここで、互いに隣り合う光束同士が干渉することなく光束の再配列が実施されて、各光束が互いに密接配置された空間利用効率が高い全体光束が生成される。

【0140】

光束再配列光学系116R2から+Y方向に向けて射出された各光束Lz2は、 $1/2$ 波長板116λを通して偏光方向が90度回転され $1/2$ 波長板116λから+Y方向に向けて射出される。

【0141】

なお、この $1/2$ 波長板116λを通った各光束の光軸が上記光束再配列光学系116R2によって再配列された各光束Lzの光軸と同一平面上に並び、かつ、互いに直交するように、上記副光学部116Sは構成されている。

【0142】

$1/2$ 波長板116λから+Y方向に向けて射出された光束Lz2は、偏光ビームスプリッタ116Pに入射し、ビームスプリット面BS1で反射されて+Z方向に向かう。そして、上記偏光ビームスプリッタ116Pで反射された+Z方向に向かう各光束Lz2のそれぞれは、レーザブロック116B1から射出された+Z方向に向かう各光束Lz1のそれぞれと同じ光路を通して光ファイバ116Lに入射する。なお、上記偏光ビームスプリッタ116Pから射出される光束Lz1の偏光方向と光束Lz2の偏光方向とは方位が90度ずれている。

【0143】

ここで、光ファイバ 116L の  $60\mu\text{m}$  の径を有するコア部の端面に収束された上記 10 本の光束からなる全体光束の集光スポットサイズは、光学系の拡大率から計算した概略値（回折による光束のボケを無視した）で、ファスト軸方向の径が  $5\mu\text{m}$ 、スロー軸方向の径が  $50\mu\text{m}$  となる。このように、上記半導体レーザから射出された各光束は、スロー軸方向に比してファスト軸方向に品質良く絞り込むことができるので上記各光束 L<sub>z</sub> からなる全体光束を光ファイバ 116L に高い結合効率、例えば結合効率 90% で結合させることができる。

#### 【0144】

##### <実施例 Ex 7>

図 22 は実施例 Ex 7 のレーザ光合波装置 107 の概略構成を示す図であり、図 22 (a) は上記レーザ光合波装置の平面図、図 22 (b) は上記レーザ光合波装置の正面図、図 23 は光束再配列光学系の拡大図であり、図 23 (a) は光束再配列光学系の個別プリズム部の斜視図、図 23 (b) は光束再配列光学系の個別プリズム部において互いに異なる方向から入射した光束を偏光合波する様子を示す図である。

#### 【0145】

上記実施例 Ex 7 のレーザ光合波装置 107 は、上記実施例 Ex 6 のレーザ光合波装置 106 の主光学部 116M と同様の構成および機能を有する主光学部 117M を備えるとともに、この主光学部 116M に加えて、上記実施例 Ex 6 における副光学部 116S の機能と同様の機能を有する副光学部 117S を備え、副光学部 117S に配置された半導体レーザから射出された光束をも主光学部 117M に配置された上記光ファイバに入射させるものである。上記実施例 Ex 6 のレーザ光合波装置 106 と同様の構成や機能を有するものについては説明を省略する。

#### 【0146】

副光学部 117S は、+Y 方向に向けて光束を射出する上記 5 つの半導体レーザが配置されたレーザブロック 117B であるレーザブロック 117B2 と、上記コリメート光学系 117C であるコリメート光学系 117C2 と、 $1/2\lambda$  波長板 117λ と、偏光ビームスプリッタを兼用する光束再配列光学系 117R2 とを備えている。

#### 【0147】

上記コリメート光学系 117C2、 $1/2\lambda$  波長板 117λ、および光束再配列光学系 117R2 で構成される偏光合波手段 117G は、レーザブロック 117B2 の 5 つの半導体レーザから射出された 5 本の光束それぞれを、上記レーザブロック 117B1 から射出されて光ファイバ 117L に入射する主光学部 117M における各光束に合波させるものである。

#### 【0148】

ここでは、上記副光学部 117S の光束再配列光学系 117R2 が、主光学部 117M の光束再配列光学系 117R1 と収束光学系 117F との間に配置されている。

#### 【0149】

なお、レーザブロック 117B1 およびレーザブロック 117B2 に配置された 5 つの半導体レーザのスロー軸方向の発光幅 D<sub>s</sub> は  $50\mu\text{m}$ 、収束光学系 117F のファスト軸方向の焦点距離は 30mm、スロー軸方向の焦点距離は 2.85mm、光ファイバ 117L のコア径は  $60\mu\text{m}$  である。

#### 【0150】

上記副光学部 117S の光束再配列光学系 117R2 は、図 23 (a)、(b) に示すように、偏光合波用の偏光コーティング膜 C<sub>p</sub> と 3 つの三角柱プリズム部 P<sub>t</sub> とが組み合わされて構成された 5 つの各個別プリズム部 117p からなる。すなわち、この光束再配列光学系 117R2 は、上記偏光コーティング膜 C<sub>p</sub> を 2 つの三角柱プリズム部 P<sub>t</sub> の間に挟んで成るビームスプリッタ部とこのビームスプリッタ部で合波させる光束を導くための 1 つの三角柱プリズム部 P<sub>t</sub> とから構成されている。

#### 【0151】

上記光束再配列光学系 117R2 は、主光学部 117M の光束再配列光学系 117R1

から+Z方向に向けて射出された各光束Lz1を上記ビームスプリッタ部に透過させて、この光束再配列光学系117R2から+Z方向に向けて射出する。一方、副光学部117Sの1/2λ波長板117λを通して+Z方向に向かう光束Lz2は、上記1つの三角柱プリズム部Ptに入射し+X方向に向けて反射され、さらに上記ビームスプリッタ部に入射して偏光コーティング膜Cpで+Z方向に向けて反射されて、上記光束Lz1が通る主光学部117Mの光路に合波される。なお、上記ビームスプリッタ部から射出される光束Lz1の偏光方向と光束Lz2の偏光方向とは方位が90度ずれている。

#### 【0152】

これにより、主光学部117Mを伝播する光束Lz1の光路に副光学部117Sを伝播する各光束Lz2が合波される。合波された各光束Lz1およびLz2からなる全体光束(図27(a)参照)は、収束光学系117Fを通して光ファイバ117Lのコア部に入射する。

#### 【0153】

ここで、光ファイバ117Lの60μmの径を有するコア部の端面に収束された上記10本の光束からなる全体光束の集光スポットサイズは、光学系の拡大率から計算した概略値(回折による光束のボケを無視した)で、ファスト軸方向の径が5μm、スロー軸方向の径が50μmとなる。このように、上記半導体レーザから射出された各光束は、スロー軸方向に比してファスト軸方向に品質良く絞り込むことができるので上記各光束Lzからなる全体光束を光ファイバ117Lに高い結合効率、例えば結合効率90%で結合させることができる。

#### 【0154】

#### <実施例Ex8>

図24は実施例Ex8のレーザ光合波装置108の概略構成を示す図であり、図24(a)は上記レーザ光合波装置の平面図、図24(b)は上記レーザ光合波装置の正面図である。

#### 【0155】

実施例Ex8のレーザ光合波装置108は、上記実施例Ex6のレーザ光合波装置106の主光学部116Mと同様の構成および機能を有する主光学部118Mを備えるとともに、この主光学部118Mに加えて副光学部118Sを備えている。

#### 【0156】

この副光学部118Sは、主光学部118Mに配置されている複数の半導体レーザとは異なる他の半導体レーザと、主光学部118Mにおける上記複数の半導体レーザによって射出された光束が光ファイバに入射するまでの各光束の光路中に、上記他の半導体レーザから射出された光束を波長合波させる波長合波手段とを有するものであり、副光学部118Sに配置された上記他の半導体レーザから射出された光束をも主光学部118Mに配置された上記光ファイバに入射させるものである。なお、上記実施例Ex6のレーザ光合波装置106と同様の構成や機能を有するものについては説明を省略する。

#### 【0157】

副光学部118Sは、370nmの波長の光束Lz2を主光学部118Mを通る410nmの波長の光束Lz1に合波させるための第1の合波部と、450nmの波長の光束Lz3を主光学部118Mを通る410nmの波長の光束Lz1および上記370nmの波長の光束Lz2に合波させるための第2の合波部とを備えている。

#### 【0158】

第1の合波部は、370nmの波長の光束Lz2を射出する5つの半導体レーザが配置されたレーザブロック118B2と、このレーザブロック118B2から射出された光束Lz2をコリメートするコリメート光学系118C2と、コリメート光学系118C2を通った各光束Lz2を再配列する光束再配列光学系118R2と、410nmの波長の光を通し370nmの波長の光を反射するダイクロイック・ビームスプリッタ118D2とを備えている。

#### 【0159】

第2の合波部は、450 nmの波長の光束を射出する5つの半導体レーザが配置されたレーザブロック118B3と、このレーザブロック118B3から射出された光束Lz3をコリメートするコリメート光学系118C3と、コリメート光学系118C3を通った各光束Lz3を再配列する光束再配列光学系118R3と、370 nmの波長の光および410 nmの波長の光を通し450 nmの波長の光を反射するダイクロイック・ビームスプリッタ118D3とを備えている。

#### 【0160】

上記コリメート光学系118C2、光束再配列光学系118R2、およびダイクロイック・ビームスプリッタ118D2で構成される波長合波手段118G2は、レーザブロック118B2から射出された5本の光束Lz2それぞれを、上記レーザブロック118B1から射出されて光ファイバ118Lに入射する主光学部118Mにおける各光束Lz1に合波させるものである。

#### 【0161】

上記コリメート光学系118C3、光束再配列光学系118R3、およびダイクロイック・ビームスプリッタ118D3で構成される波長合波手段118G3は、レーザブロック118B3から射出された5本の各光束Lz3それぞれを、上記主光学部118Mを通る各光束Lz1および各光束Lz2に合波させるものである。

#### 【0162】

ここでは、上記副光学部118Sのレーザブロック118B2とレーザブロック118B3が、主光学部118Mの光束再配列光学系118R1と収束光学系118Fとの間に配置されている。

#### 【0163】

なお、レーザブロック118B1、レーザブロック118B2、およびレーザブロック118B3のそれぞれに配置された5つの半導体レーザのスロー軸方向の発光幅Dsは50  $\mu$ m、収束光学系118Fのファスト軸方向の焦点距離は30 mm、スロー軸方向の焦点距離は2.85 mm、光ファイバ118Lのコア径は60  $\mu$ mである。

#### 【0164】

上記副光学部118Sの光束再配列光学系118R2、および光束再配列光学系118R3のそれぞれは、実施例Ex1の光束再配列光学系111Rと同様の構成を成す光束再配列光学系118R1と同様のものであり、図11に示す個別プリズム部111pと同様の個別プリズム部を、5本の各光束に対応させて各光束の伝播方向における互いに異なる位置に1つずつ配置してなるものである。

#### 【0165】

次に、主光学部118Mを伝播する光束Lz1の光路に、副光学部118Sの第1の合波部を伝播する各光束Lz3および第2の合波部を伝播する各光束Lz3を合波させる作用について説明する。

#### 【0166】

レーザブロック118B1に配置された各半導体レーザから+Z方向に向けて射出された5本の各光束Lz1は、コリメート光学系118C1により互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にせしめられる。上記平行光束となった各光束Lz1は、光束再配列光学系118R1の5つの個別プリズム部のそれぞれを通して各光束Lz1のファスト軸が互いに平行となり同一平面上に並ぶように再配列され+Z方向に向けて射出される。ここで、互いに隣り合う光束同士が干渉することなく光束の再配列が実施されて、各光束が互いに密接配置された空間利用効率が高い全体光束が生成される。

#### 【0167】

光束再配列光学系118R1から+Z方向に向けて射出された光束Lz1は、ダイクロイック面DS2を透過してダイクロイック・ビームスプリッタ118D2から射出され、ダイクロイック面DS3を透過してダイクロイック・ビームスプリッタ118D3から射出された後、波長410 nmの各光束Lz1からなる全体光束は、収束光学系118Fに入射し、収束Fレンズ118Ffを通してファスト軸方向の幅が狭くなるようにYZ平面



において収束されるとともに、収束Sレンズ118Fsを通してスロー軸方向に幅が狭くなるようにXZ平面において収束され、光ファイバ118Lのコア部に入射する。

#### 【0168】

一方、副光学部118Sでは、レーザブロック118B2に配置された5つの半導体レーザから+Y方向に向けて射出された5本の370nmの各光束Lz2は、コリメート光学系118C2により互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にせしめられる。上記平行光束となった各光束Lz2は、光束再配列光学系118R2の5つの個別プリズム部のそれぞれを通して各光束Lz2のファスト軸が互いに平行となり同一平面上に並ぶように再配列され+Y方向に向けて射出される。

#### 【0169】

なお、この光束再配列光学系118R2から射出された各光束Lz2の光軸が上記光束再配列光学系118R1によって再配列された各光束Lz1の光軸と同一平面上に並び、かつ、互いに直交するように、上記副光学部118Sの第1の合波部は構成されている。

#### 【0170】

上記再配列されて光束再配列光学系118R2から+Y方向に射出された各光束Lz2は、ダイクロイック・ビームスプリッタ118D2のダイクロイック面Dc2で反射され、各光束Lz1のそれぞれと同じ光路を通してダイクロイック・ビームスプリッタ118D3に入射した後、収束光学系118Fを通して光ファイバ118Lのコア部に入射する。

#### 【0171】

レーザブロック118B3に配置された5つの半導体レーザから+Y方向に向けて射出された5本の450nmの各光束Lz3も、上記と同様にコリメート光学系118C3、光束再配列光学系118R3を通して再配列され+Y方向に向けて射出される。

#### 【0172】

なお、この光束再配列光学系118R3から射出された各光束Lz3の光軸が上記光束再配列光学系118R1によって再配列された各光束Lz1の光軸と同一平面上に並び、かつ、互いに直交するように、上記副光学部118Sの第2の合波部は構成されている。

#### 【0173】

上記再配列されて光束再配列光学系118R3から+Y方向に射出された各光束Lz3は、ダイクロイック・ビームスプリッタ118D3のダイクロイック面Dc3で反射され、上記各光束Lz1および各光束Lz2のそれぞれと同じ光路を通り(図27(a)参照)収束光学系118Fで収束されて光ファイバ118Lに入射する。

#### 【0174】

ここで、光ファイバ118Lの60 $\mu$ mの径を有するコア部の端面に収束された上記15本の光束からなる全体光束の集光スポットサイズは、光学系の拡大率から計算した概略値(回折による光束のボケを無視した)で、ファスト軸方向の径が5 $\mu$ m、スロー軸方向の径が50 $\mu$ mとなる。このように、上記半導体レーザから射出された各光束は、スロー軸方向に比してファスト軸方向に品質良く絞り込むことができるので上記各光束Lz1、各光束Lz2、および各光束Lz3からなる全体光束を光ファイバ118Lに高い結合効率、例えば結合効率90%で結合させることができる。

#### 【0175】

##### <実施例Ex9>

図25は実施例Ex9のレーザ光合波装置109の概略構成を示す図であり、図25(a)は上記レーザ光合波装置の平面図、図25(b)は上記レーザ光合波装置の正面図、図26は光束再配列光学系の拡大図であり、図26(a)は光束再配列光学系の個別プリズム部の斜視図、図26(b)は光束再配列光学系の個別プリズム部において互いに異なる方向から入射した光束を波長合波する様子を示す図である。

#### 【0176】

上記実施例Ex9のレーザ光合波装置109は、上記実施例Ex8のレーザ光合波装置108の主光学部118Mと同様の構成および機能を有する主光学部119Mを備えると

ともに、この主光学部 119M に加えて、上記実施例 Ex 8 における副光学部 118S の機能と同様の機能を有する副光学部 119S を備え、副光学部 119S に配置された半導体レーザから射出された光束をも主光学部 119M に配置された上記光ファイバに入射させるものである。上記実施例 Ex 8 のレーザ光合波装置 108 と同様の構成や機能を有するものについては説明を省略する。

#### 【0177】

副光学部 119S の第 1 の合波部は、370nm の波長の光束を +Y 方向に向けて射出する 5 つの半導体レーザが配置されたレーザブロック 119B2 と、コリメート光学系 119C2 と、410nm の波長の光を通し 370nm の波長の光を反射するダイクロイック・ビームスプリッタを兼用する光束再配列光学系 119R2 とを備えている。

#### 【0178】

上記コリメート光学系 119C2、および光束再配列光学系 119R2 で構成される波長合波手段 119G2 は、レーザブロック 119B2 の 5 つの半導体レーザから射出された 5 本の光束それぞれを、上記レーザブロック 119B1 から射出されて光ファイバ 119L に入射する主光学部 119M における各光束に合波させるものである。

#### 【0179】

ここでは、上記副光学部 119S の光束再配列光学系 119R2、および後述する光束再配列光学系 119R3 が、主光学部 119M の光束再配列光学系 119R1 と収束光学系 119F との間に配置されている。

#### 【0180】

なお、レーザブロック 119B1、レーザブロック 119B2、および後述するレーザブロック 119B3 に配置された 5 つの半導体レーザのスロー軸方向の発光幅  $D_s$  は 50  $\mu\text{m}$ 、収束光学系 119F のファスト軸方向の焦点距離は 30mm、スロー軸方向の焦点距離は 2.85mm、光ファイバ 119L のコア径は 60  $\mu\text{m}$  である。

#### 【0181】

上記副光学部 119S の光束再配列光学系 119R2 は、図 26 に示すように、波長合波用のダイクロイック・コーティング膜 Cd と 3 つの三角柱プリズム部 Pt とが組み合わされて構成された 5 つの各個別プリズム部 119p からなる。すなわち、この光束再配列光学系 119R2 は、上記ダイクロイック・コーティング膜 Cd を 2 つの三角柱プリズム部 Pt の間に挟んで成るダイクロイック・ビームスプリッタ部とこのダイクロイック・ビームスプリッタ部において合波させる光束を導くための 1 つの三角柱プリズム部 Pt とから構成されている。

#### 【0182】

光束再配列光学系 119R2 は、主光学部 119M の光束再配列光学系 119R1 から +Z 方向に向けて射出された各光束  $L_z1$  を、上記ダイクロイック・ビームスプリッタ部に透過させて、この光束再配列光学系 119R2 から +Z 方向に向けて射出させる。一方、副光学部 119S の第 1 の合波部においてコリメート光学系 119C2 を通って +Y 方向に向かう光束  $L_z2$  は、上記 1 つの三角柱プリズム部 Pt に入射し +X 方向に向けて反射し、さらに上記ダイクロイック・ビームスプリッタ部に入射してダイクロイック・コーティング膜 Cd で +Z 方向に向けて反射されて、上記光束  $L_z1$  が通る主光学部 119M の光路と同じ光路を伝播する。

#### 【0183】

これにより、主光学部 119M を伝播する光束  $L_z1$  の光路に副光学部 119S を伝播する各光束  $L_z2$  が合波される。

#### 【0184】

副光学部 119S の第 2 の合波部は、450nm の波長の光束を +Y 方向に向けて射出する 5 つの半導体レーザが配置されたレーザブロック 119B3 と、コリメート光学系 119C3 と、370nm および 410nm の波長の光を透過させ、450nm の光を反射するダイクロイック・ビームスプリッタを兼用する光束再配列光学系 119R3 とを備えている。

## 【0185】

この第2の合波部の作用は上記第1の合波部と同様であり、光束再配列光学系119R3のダイクロイック・ビームスプリッタ部を通して+Y方向に向かう光束Lz1およびLz2に対して、レーザブロック119B3から射出されコリメート光学系119C3を通してダイクロイック・ビームスプリッタ部で反射させた光束Lz3を合波させる。

## 【0186】

これにより、各光束Lz1、Lz2、およびLz3からなる全体光束(図27(a)参照)は、収束光学系119Fを通して光ファイバ119Lのコア部に入射する。

## 【0187】

ここで、光ファイバ119Lの60 $\mu$ mの径を有するコア部の端面に収束された上記15本の光束からなる全体光束の集光スポットサイズは、光学系の拡大率から計算した概略値(回折による光束のボケを無視した)で、ファスト軸方向の径が5 $\mu$ m、スロー軸方向の径が50 $\mu$ mとなる。このように、上記半導体レーザから射出された各光束は、スロー軸方向に比してファスト軸方向に品質良く絞り込むことができるので上記各光束Lz1、Lz2、およびLz3からなる全体光束を光ファイバ119Lに高い結合効率、例えば結合効率90%で結合させることができる。

## 【0188】

なお、上記レーザ光合波装置は、半導体レーザの実装配置、トランケート型のコリメートレンズのコリメート機能、および光束再配列光学系の光束再配列機能、収束光学系の光束収束機能等の最適化により、本出願人によりすでに提案されている特許文献(例えば、特願2002-287640、特願2002-201979)等に記載されているスタック型(ファスト軸方向に半導体レーザを積層した構造)を有する光ファイバ・レーザ(レーザ光合波装置)にも適用することができる。

## 【0189】

なお、本発明のレーザ光合波装置における合波本数は5本に限るものではなく、合波本数は2本以上のいずれの数が選択されてもよい。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0190】

- 【図1】 本発明の実施の形態におけるレーザ光合波装置の概略構成を示す図
- 【図2】 半導体レーザの活性層からレーザ光束が射出される様子を示す斜視図
- 【図3】 光束再配列光学系を構成するプリズムを示す斜視図
- 【図4】 光束が再配列され合波される様子を示す図
- 【図5】 収束角変換光学系を3方向から見た図
- 【図6】 収束光学系が全体光束を収束させる様子を示す図
- 【図7】 他の光束再配列光学系の概略構成を示す図
- 【図8】 光束再配列光学系を構成するプリズムを示す斜視図
- 【図9】 光束が再配列され合波される様子を示す図
- 【図10】 実施例Ex1のレーザ光合波装置の概略構成を示す図
- 【図11】 光束再配列光学系に使用されるプリズムの拡大斜視図
- 【図12】 実施例Ex2のレーザ光合波装置の概略構成を示す図
- 【図13】 光束再配列光学系に使用されるプリズムの拡大斜視図
- 【図14】 実施例Ex3のレーザ光合波装置の概略構成を示す図
- 【図15】 実施例Ex4のレーザ光合波装置の概略構成を示す図
- 【図16】 光束再配列光学系に使用されるプリズムの拡大斜視図
- 【図17】 光束再配列光学系に使用されるプリズムの拡大斜視図
- 【図18】 実施例Ex5のレーザ光合波装置の概略構成を示す図
- 【図19】 光束再配列光学系に使用されるプリズムの拡大斜視図
- 【図20】 光束再配列光学系に使用されるプリズムの拡大斜視図
- 【図21】 実施例Ex6のレーザ光合波装置の概略構成を示す図
- 【図22】 実施例Ex7のレーザ光合波装置の概略構成を示す図

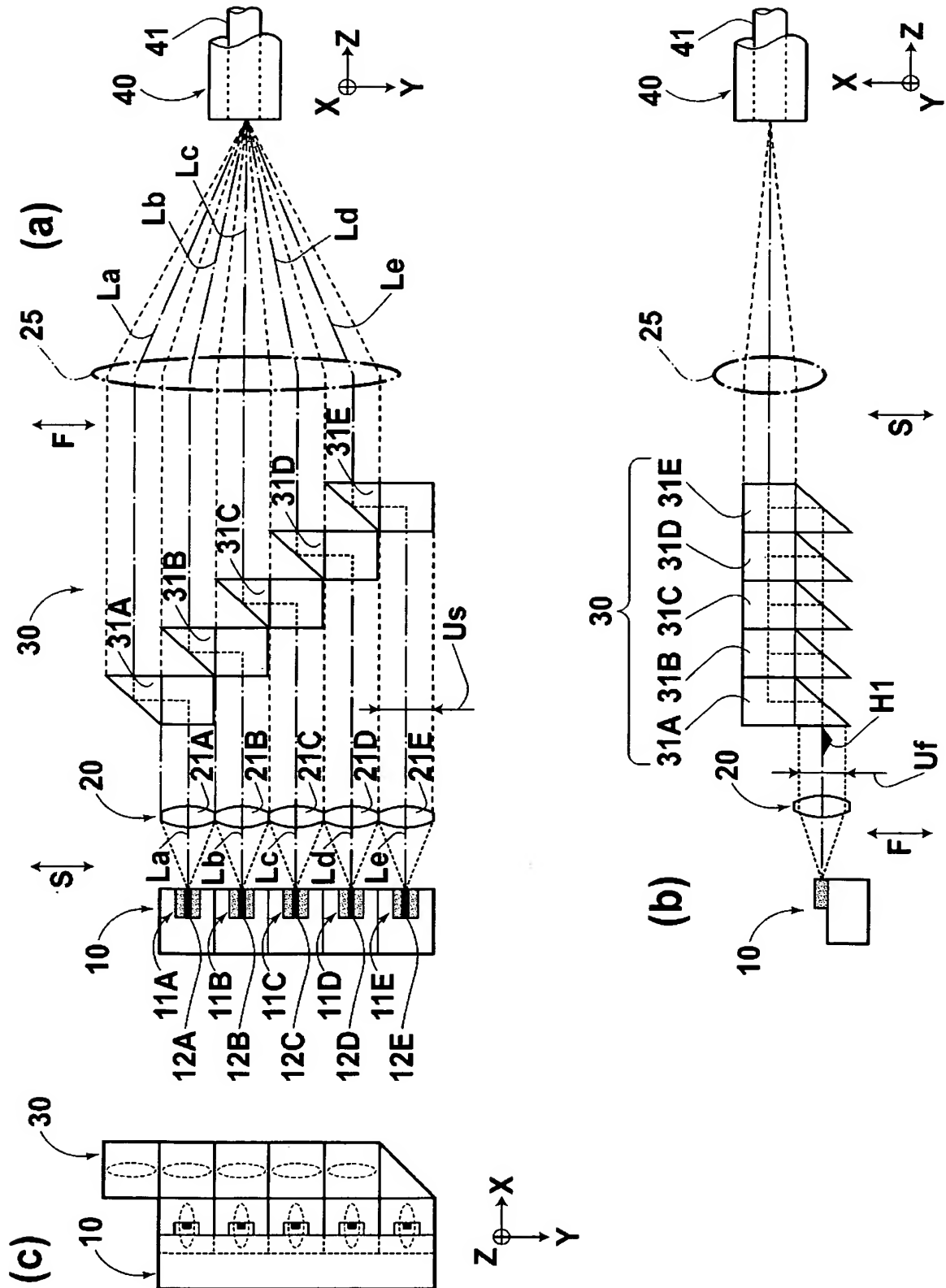
- 【図 2 3】 光束再配列光学系に使用されるプリズムを通る光束の様子を示す図
- 【図 2 4】 実施例 E x 8 のレーザ光合波装置の概略構成を示す図
- 【図 2 5】 実施例 E x 9 のレーザ光合波装置の概略構成を示す図
- 【図 2 6】 光束再配列光学系に使用されるプリズムを通る光束の様子を示す図
- 【図 2 7】 収束光学系に入射するときの各光束の整列状態を示す図
- 【図 2 8】 従来 of レーザ光合波装置の概略構成を示す図
- 【図 2 9】 光束が再配列され合波される様子を示す図
- 【図 3 0】 光束再配列光学系を構成する各プリズムの配置を示す斜視図

## 【符号の説明】

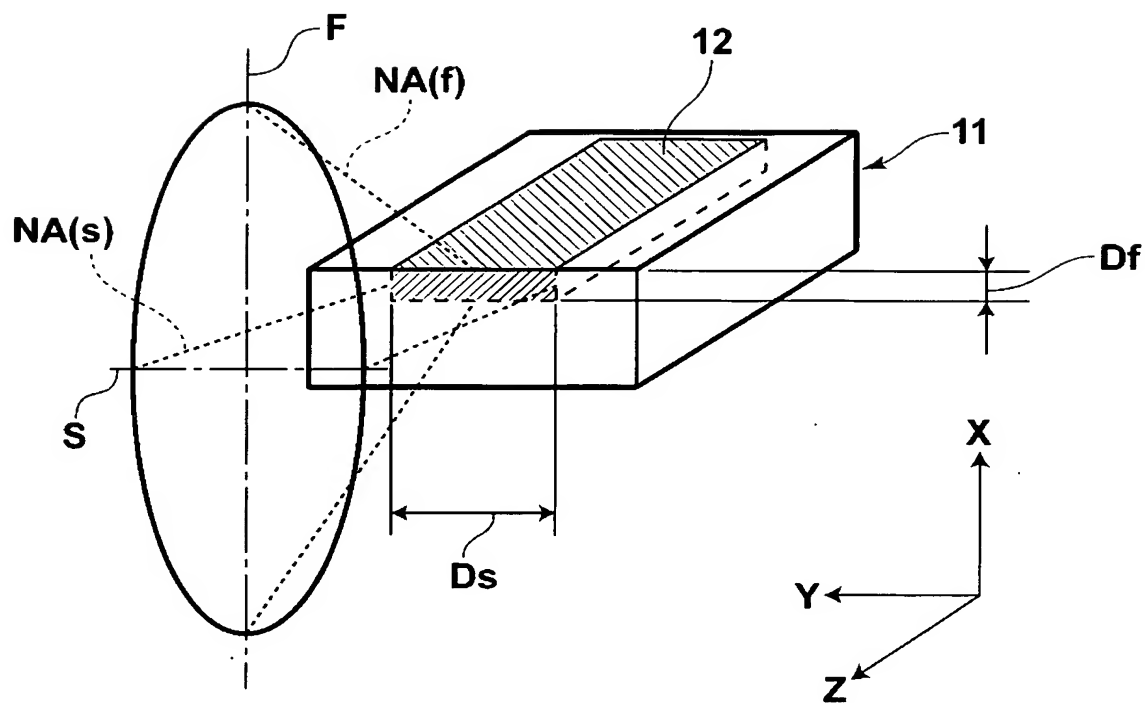
## 【 0 1 9 1 】

- 1 1 半導体レーザ
- 1 2 活性層
- 1 0 レーザブロック
- 2 0 コリメート光学系
- 2 5 収束光学系
- 3 0 光束再配列光学系
- 4 0 光ファイバ

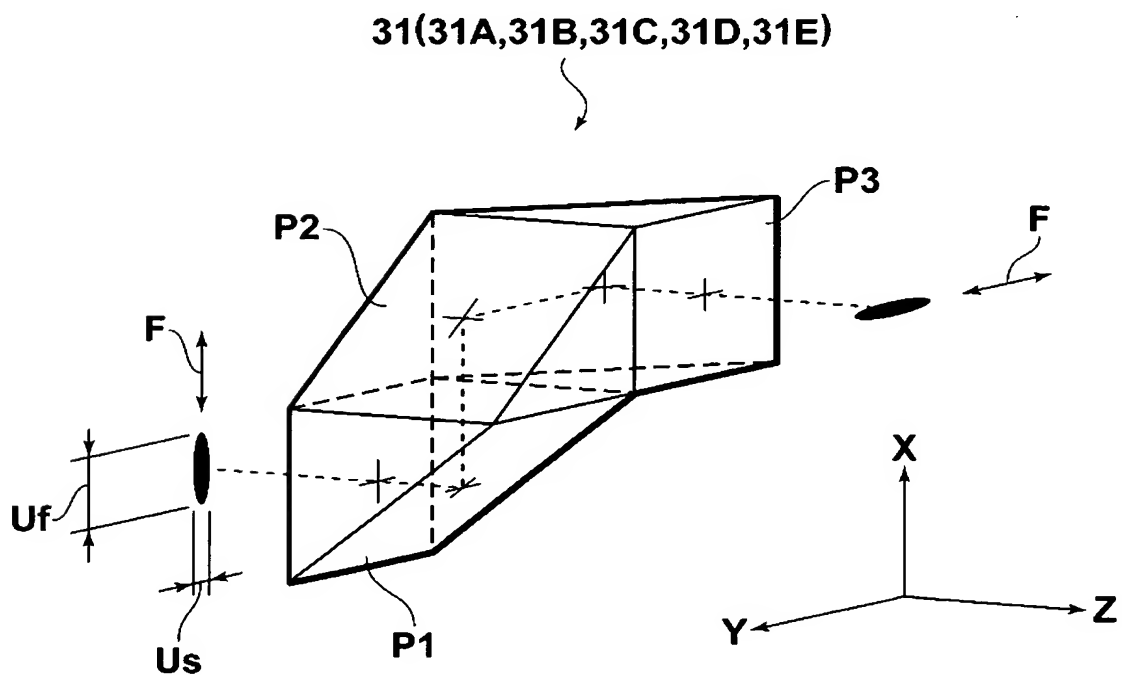
【書類名】 図面  
【図 1】



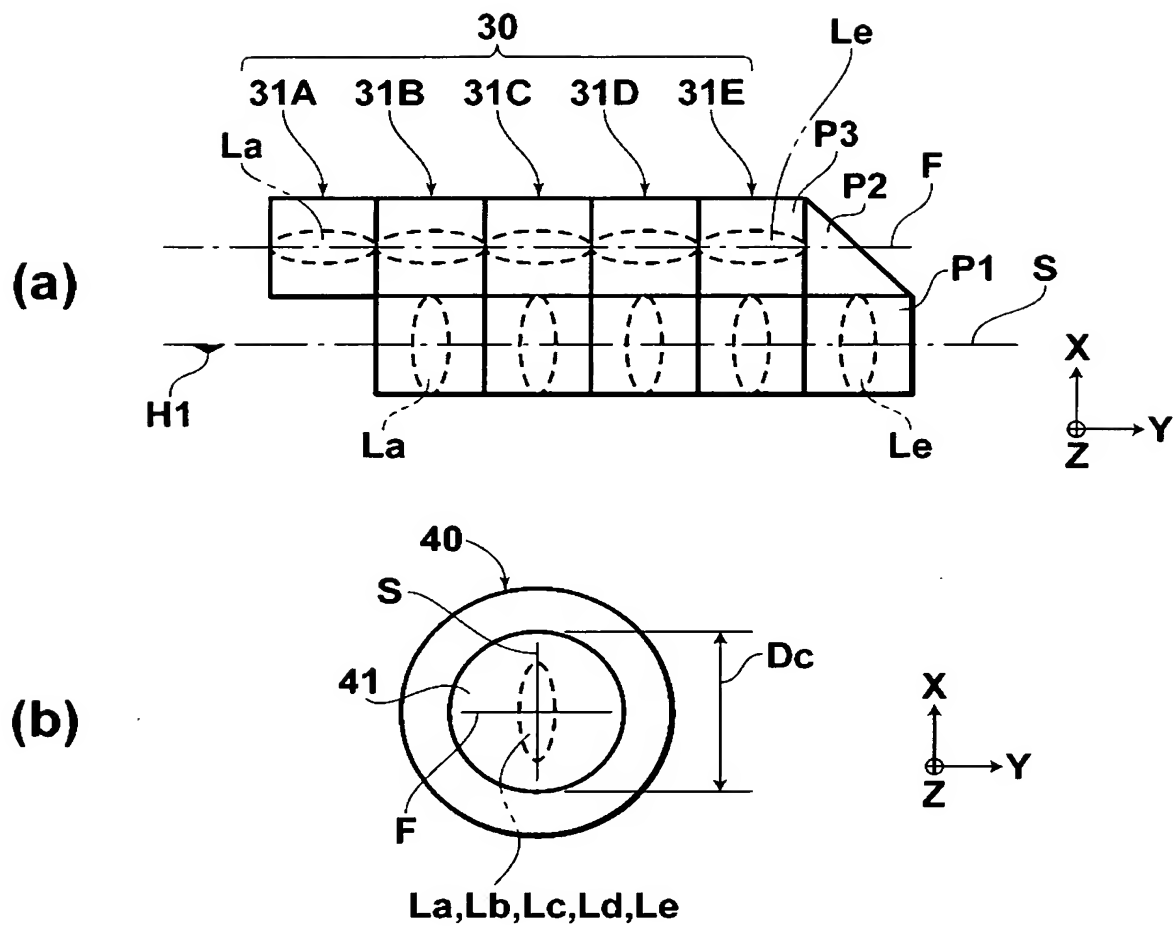
【図 2】



【図 3】

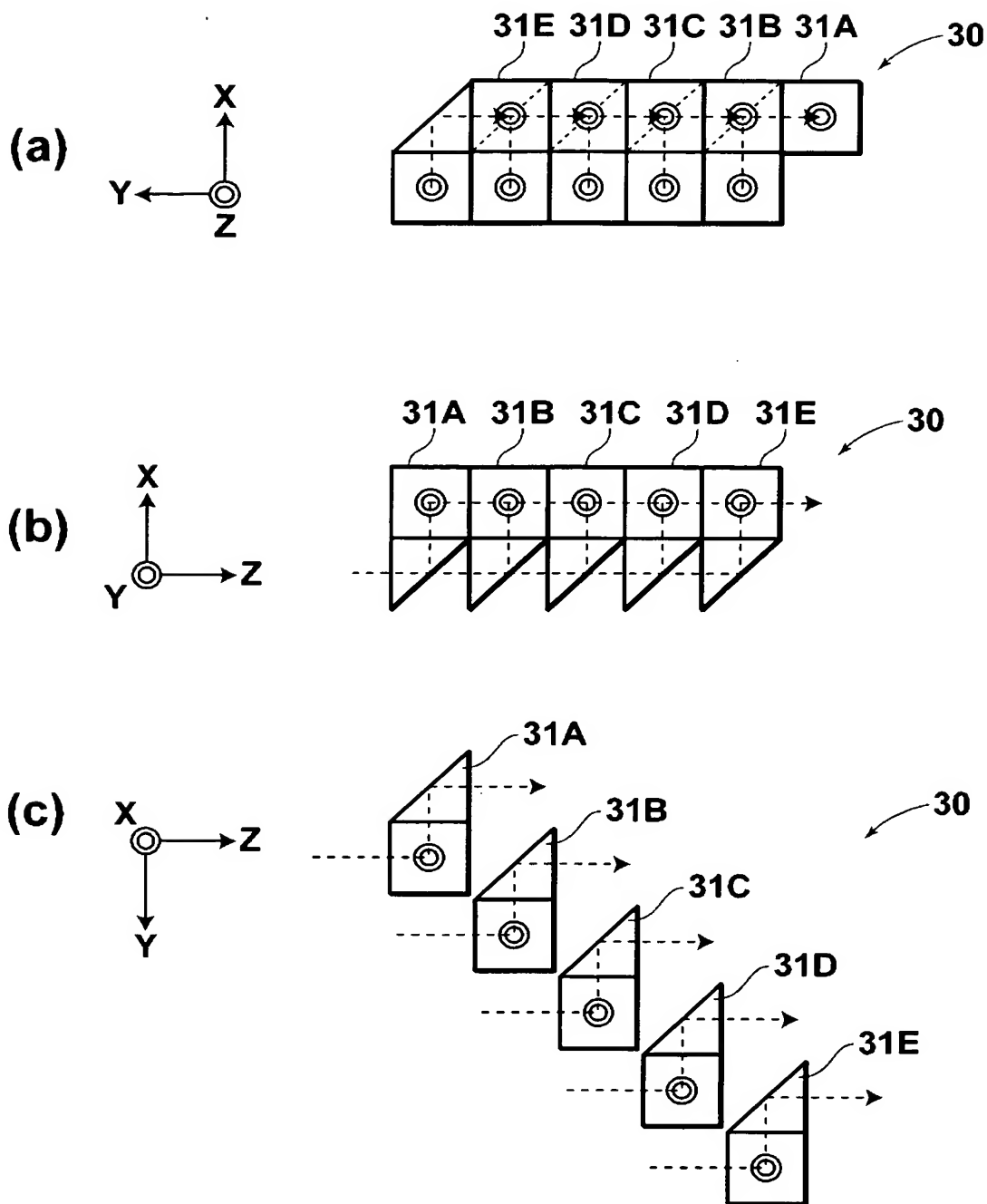


【図 4】



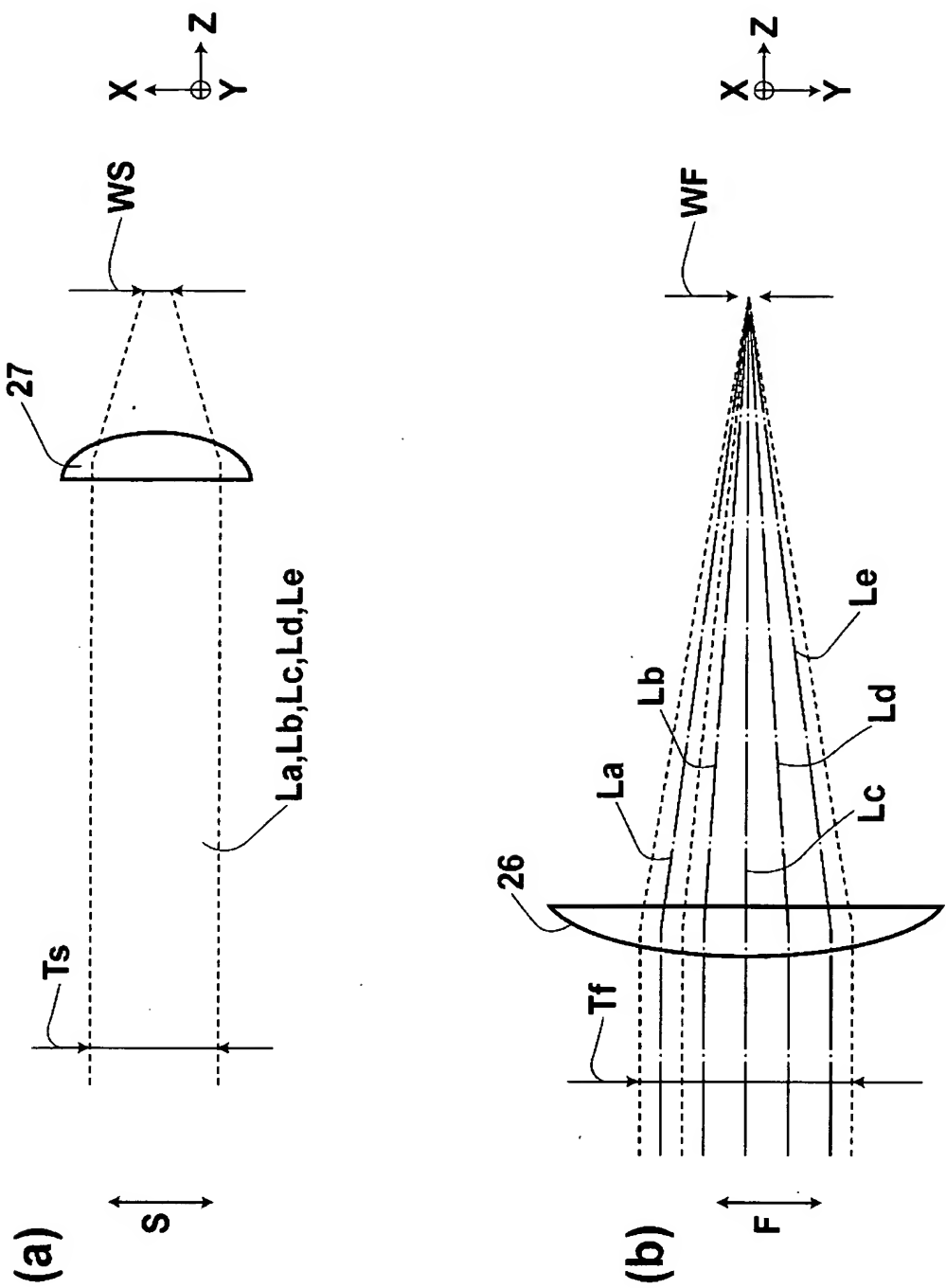
【図5】

◎印は紙面垂直方向の光路を示す

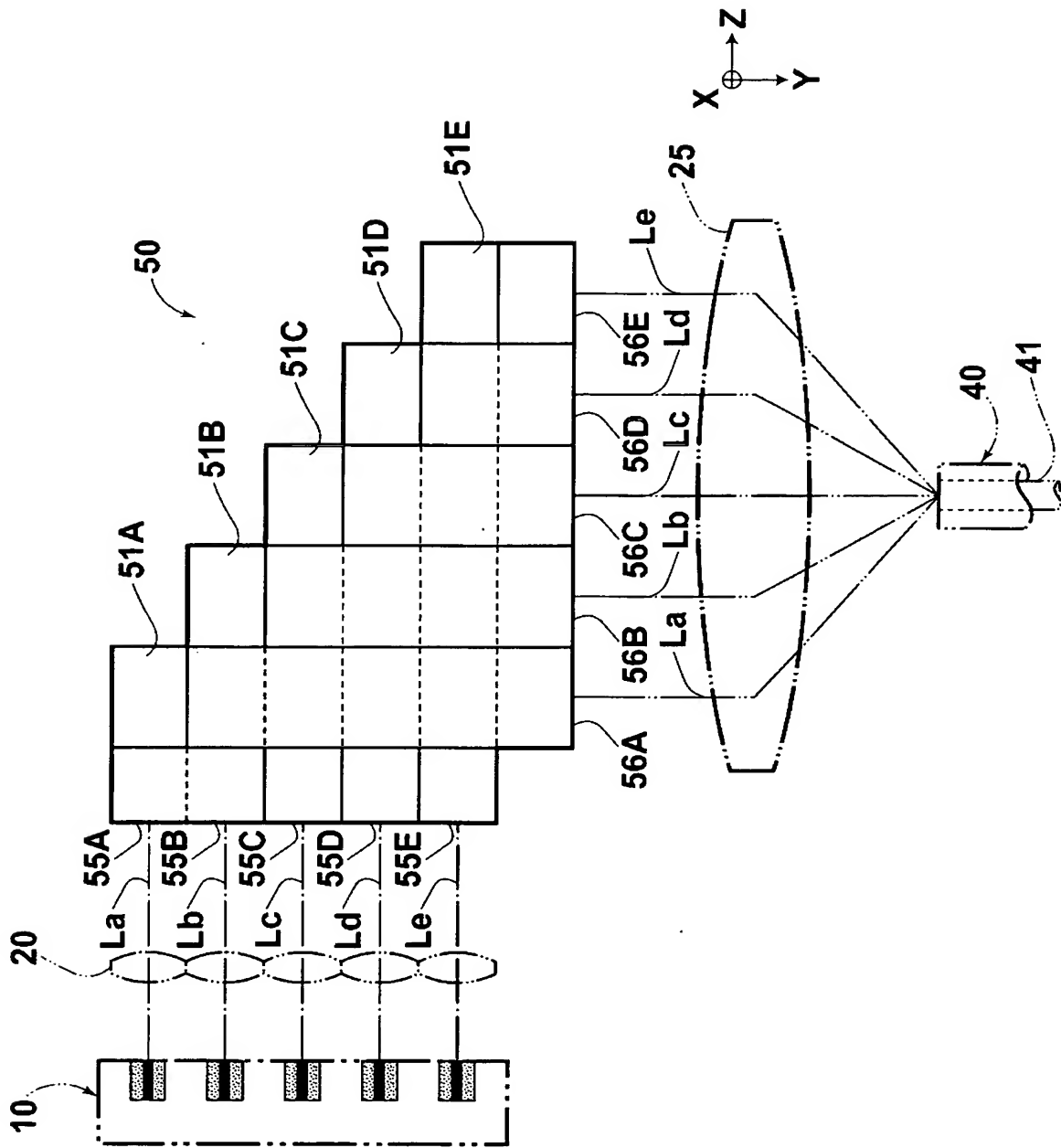




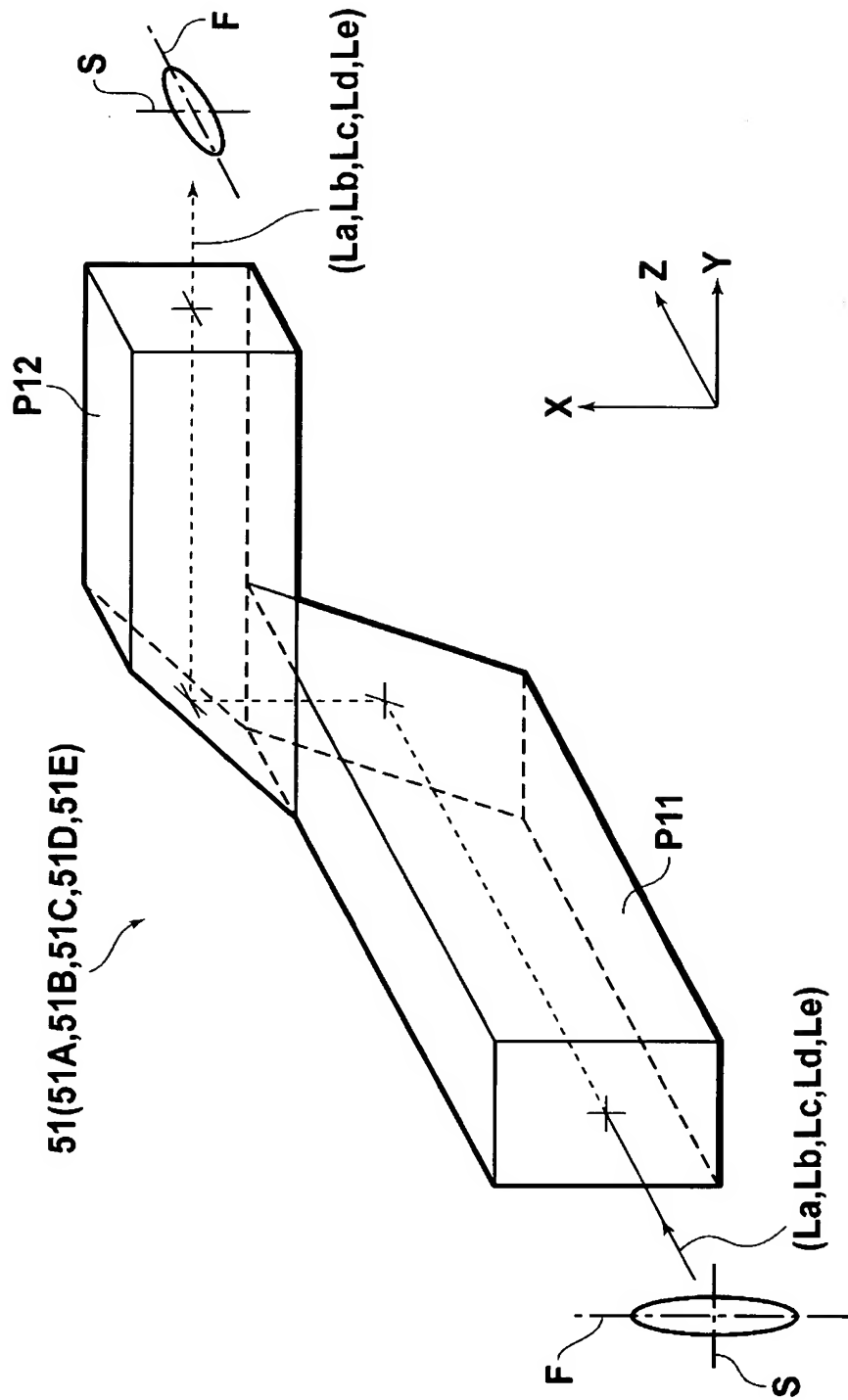
【図6】



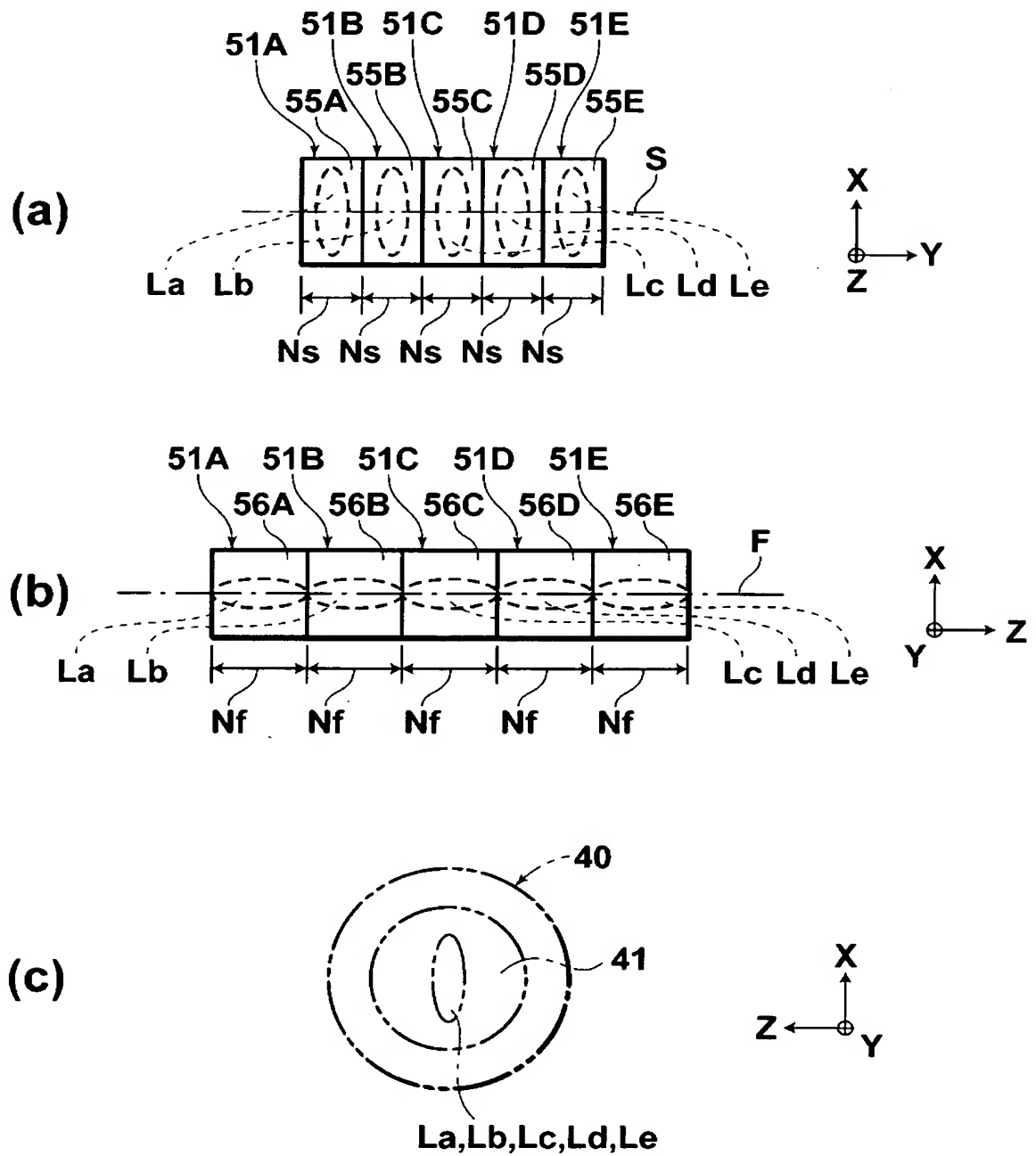
【図 7】



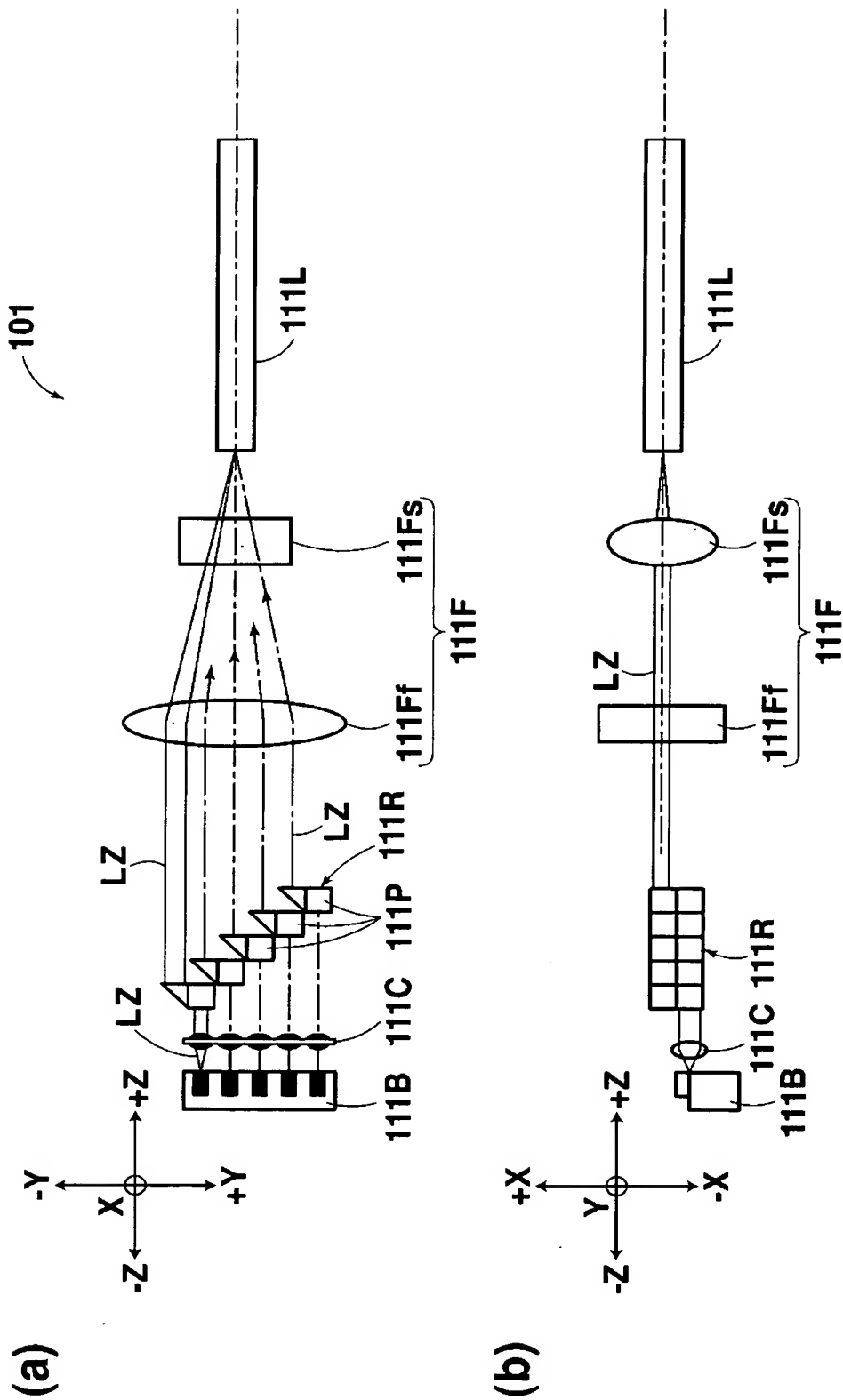
【図 8】



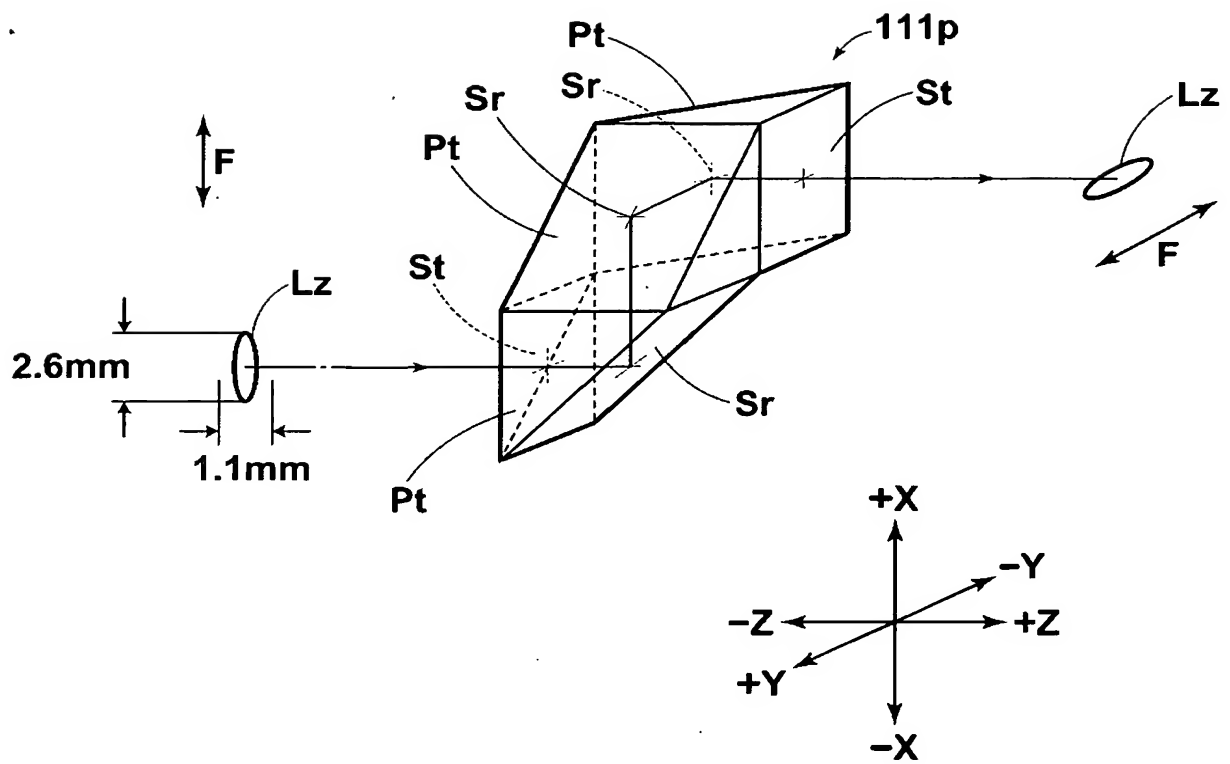
【図 9】



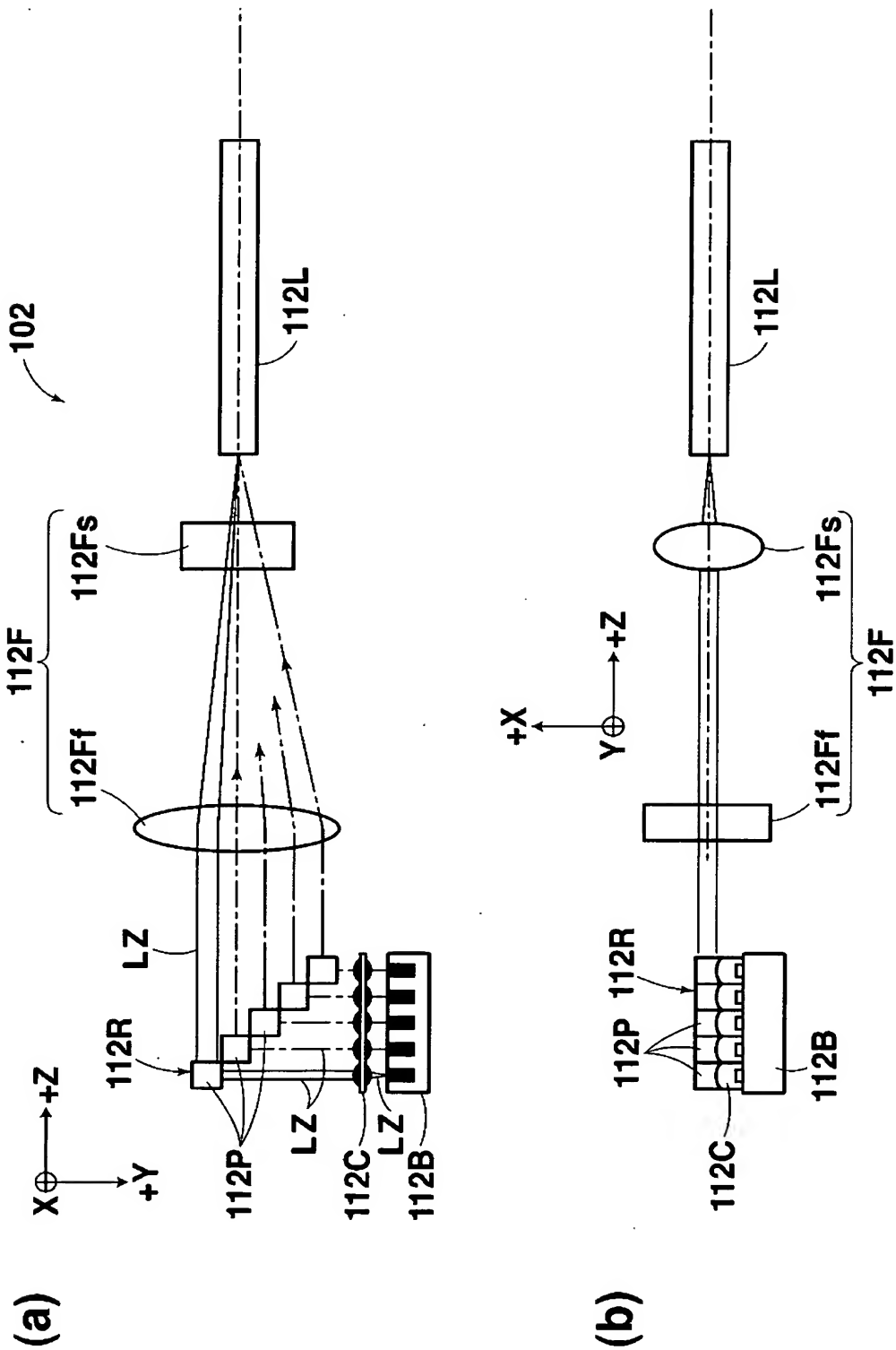
【図 10】



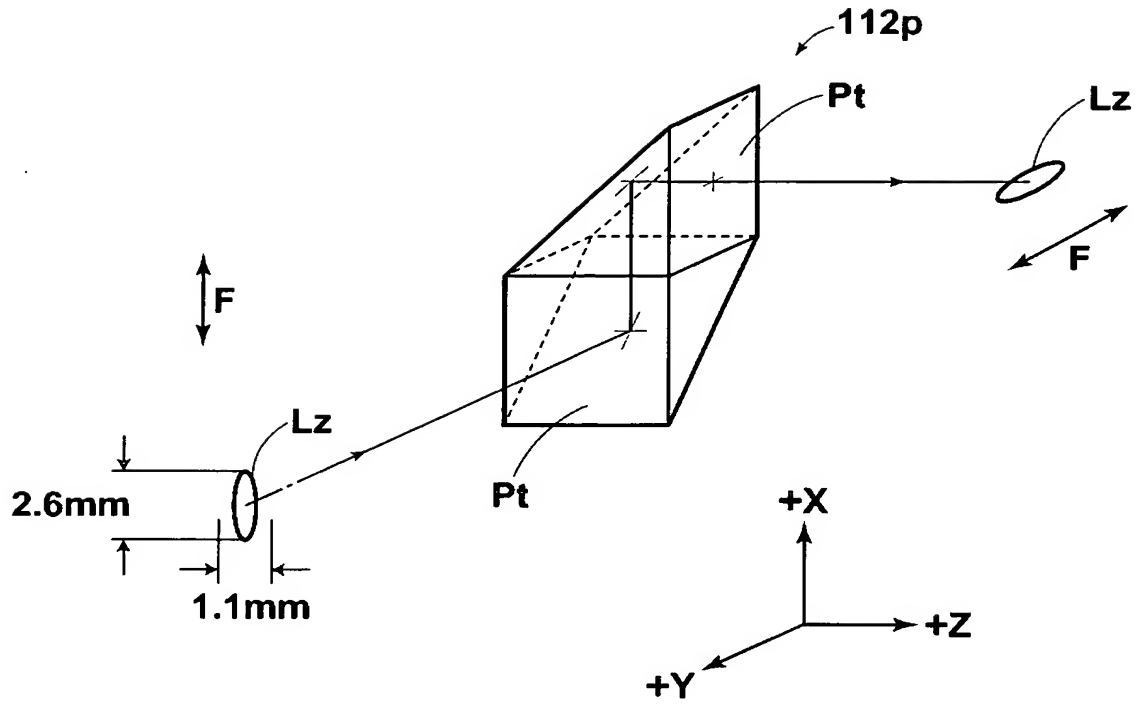
【図 11】



【図 12】

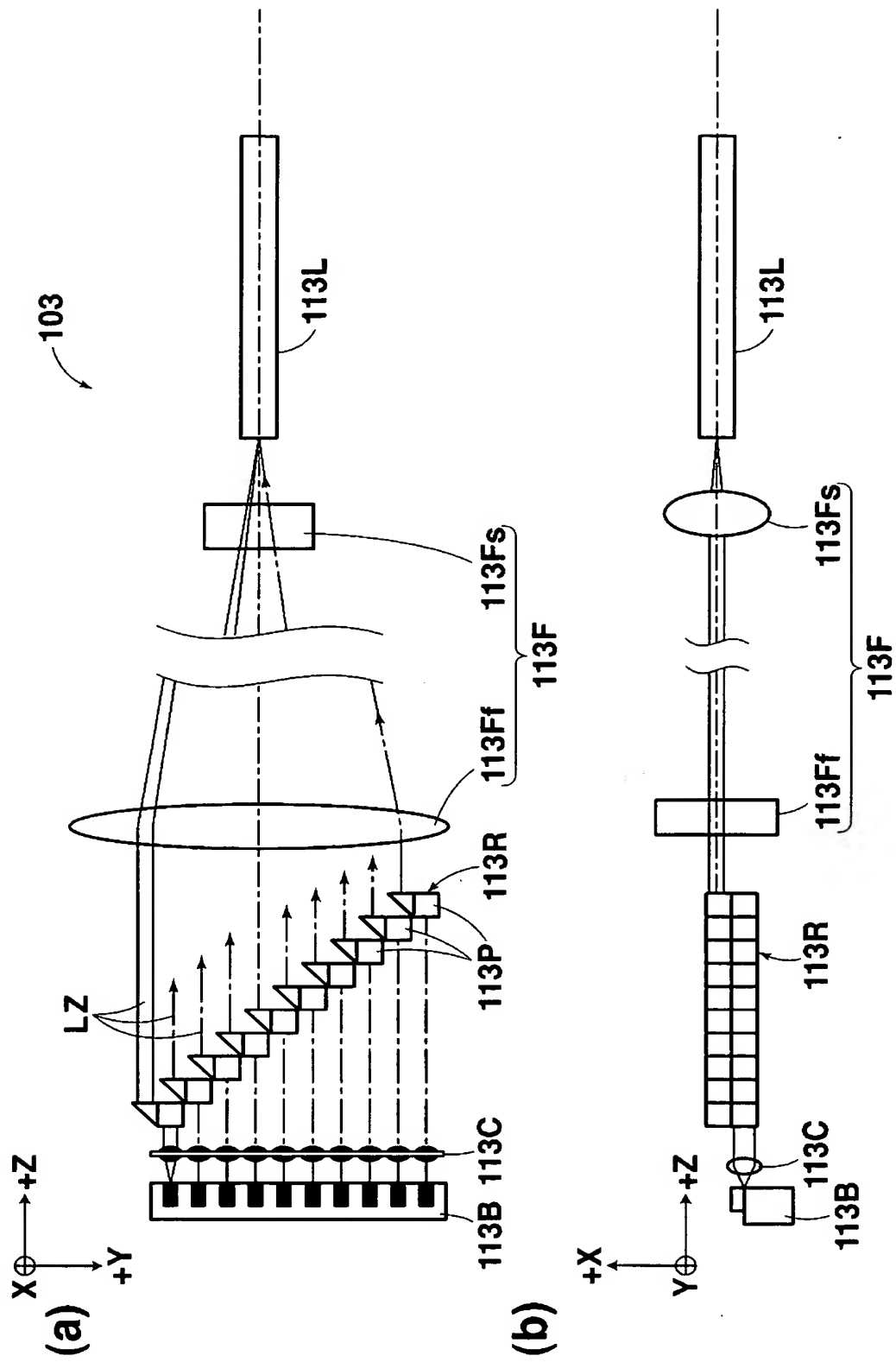


【図 13】

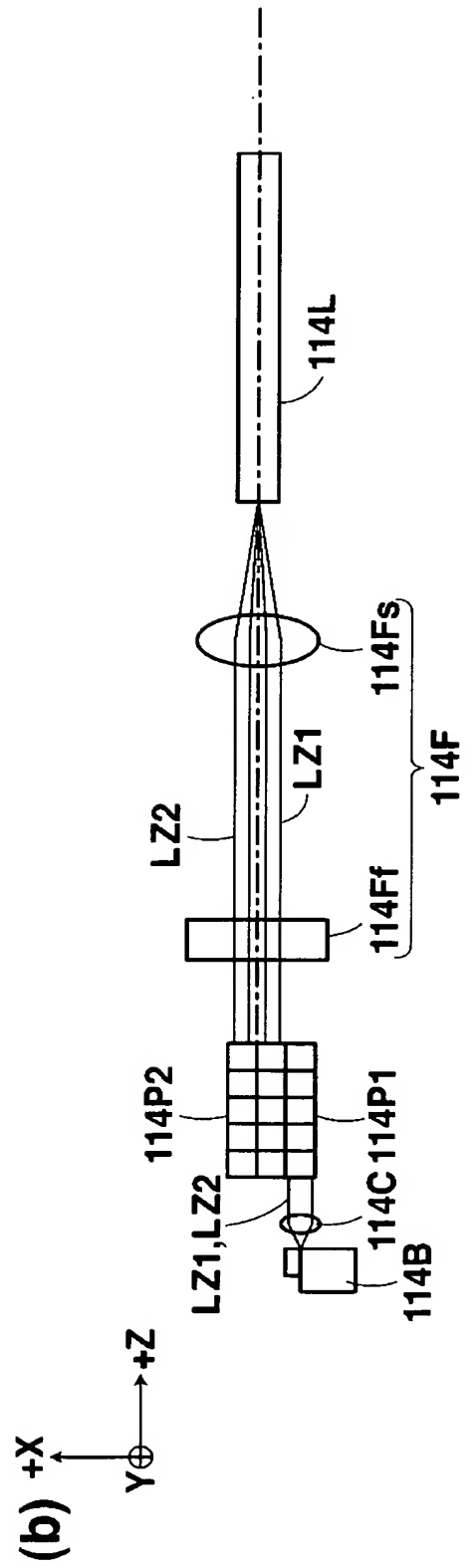
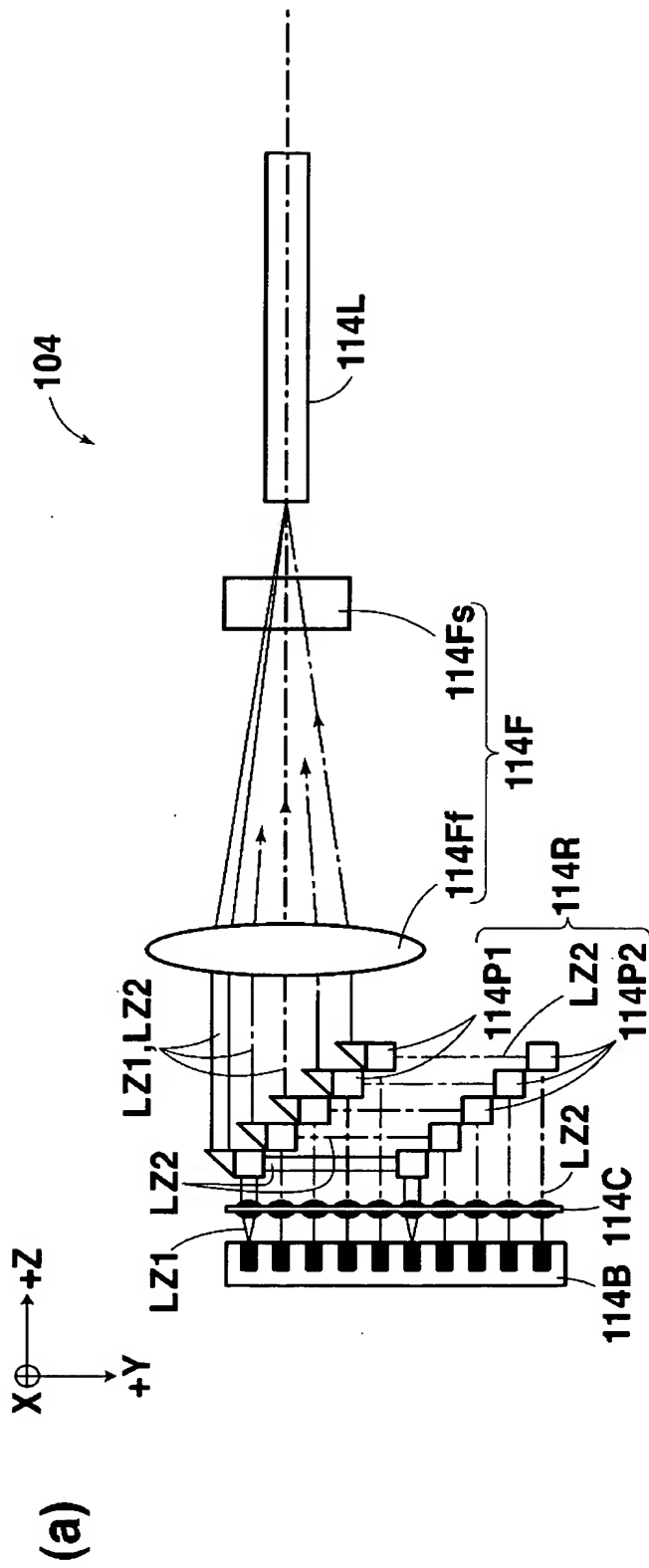




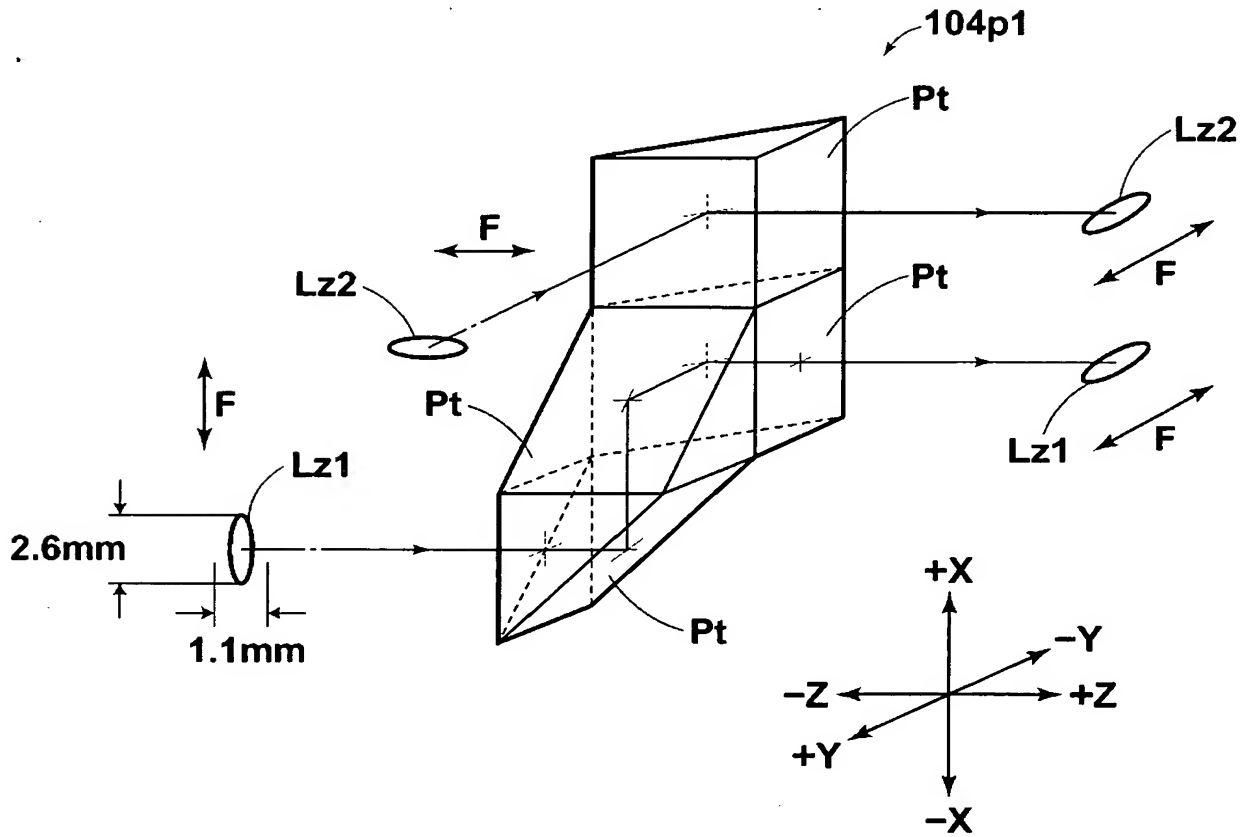
【図 14】



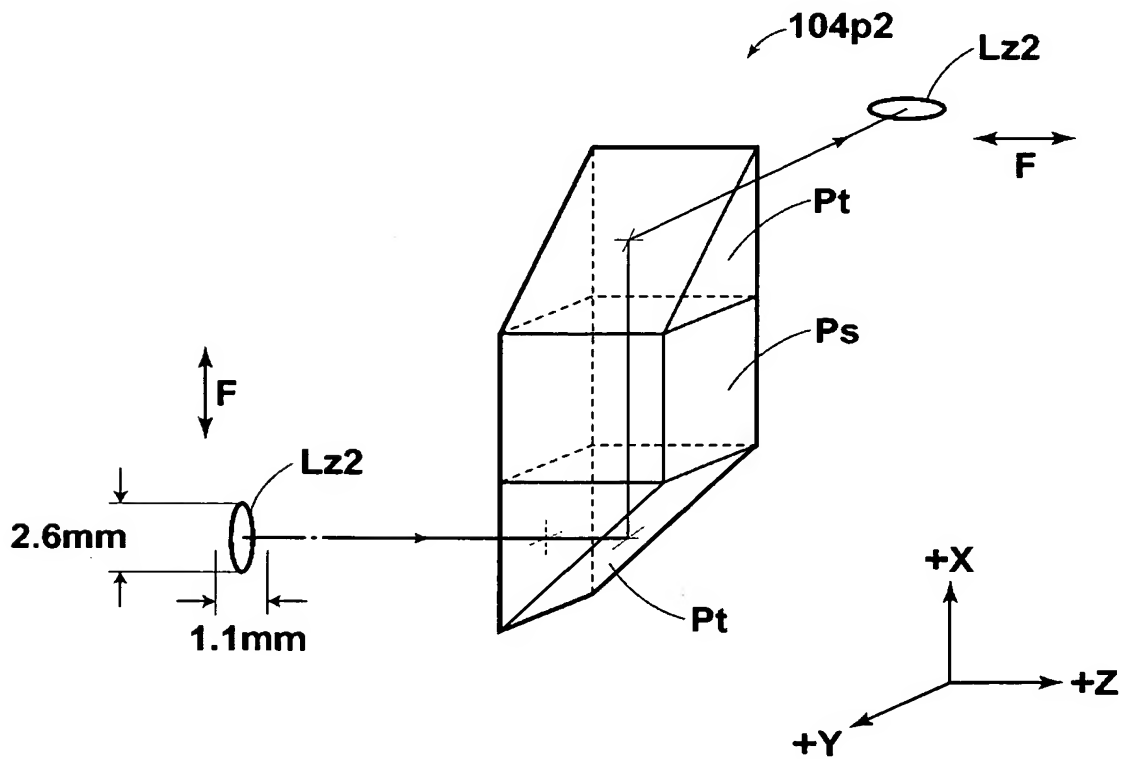
【図 15】



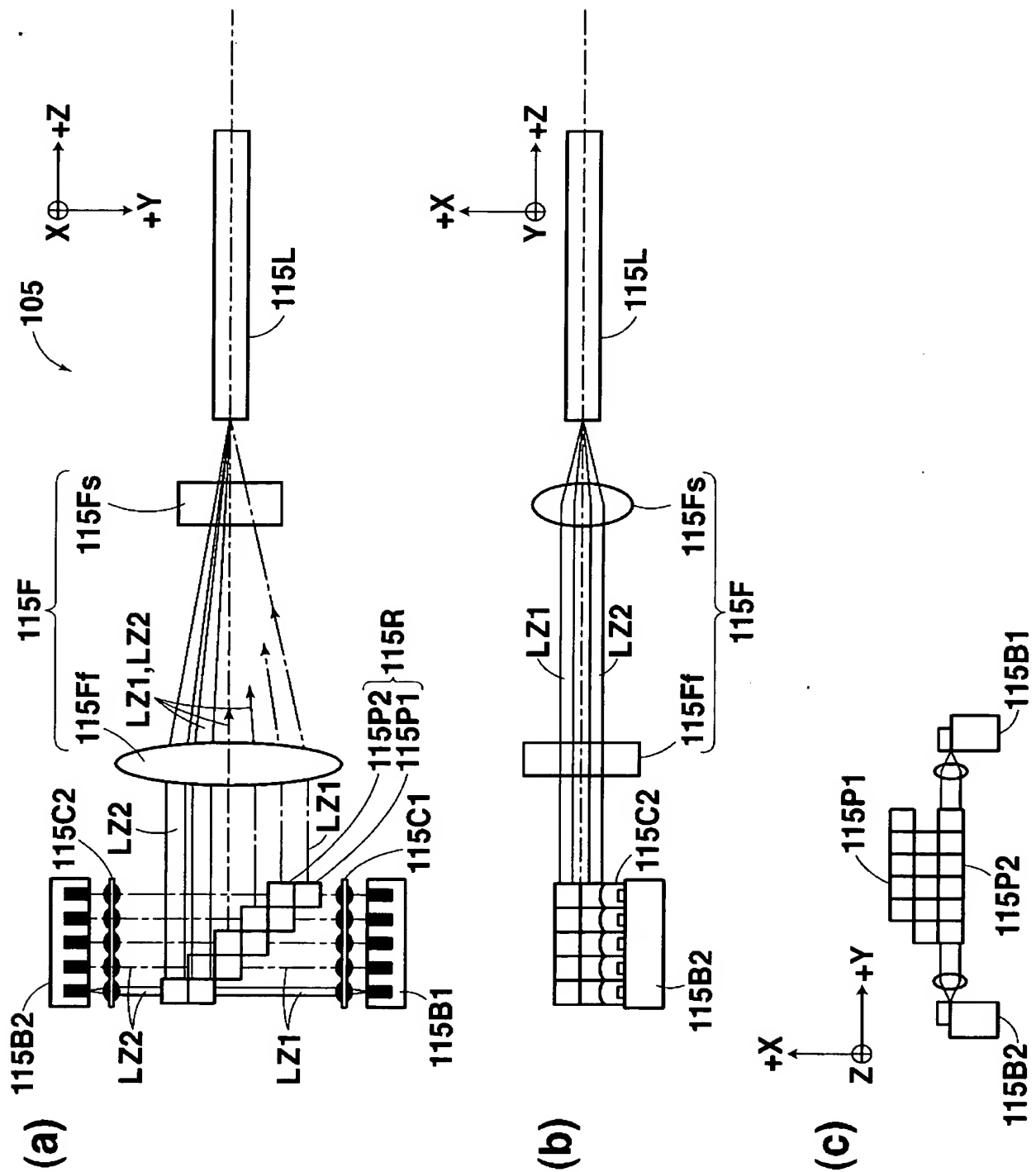
【図 16】



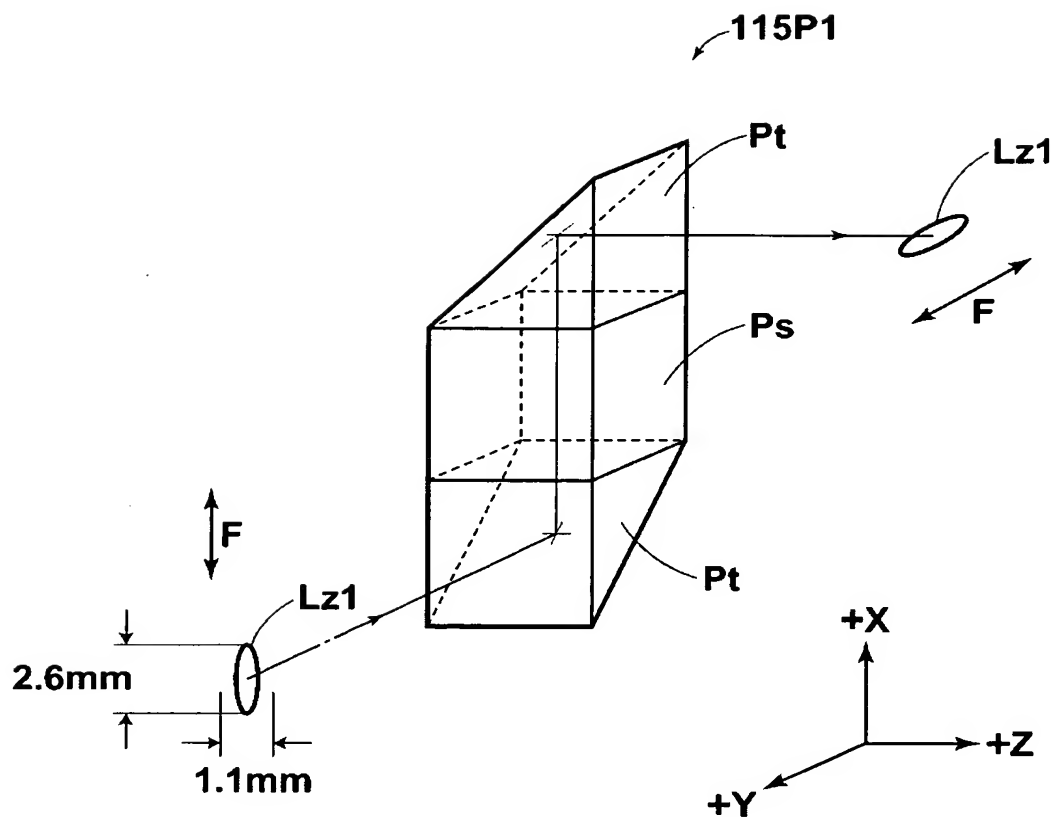
【図 17】



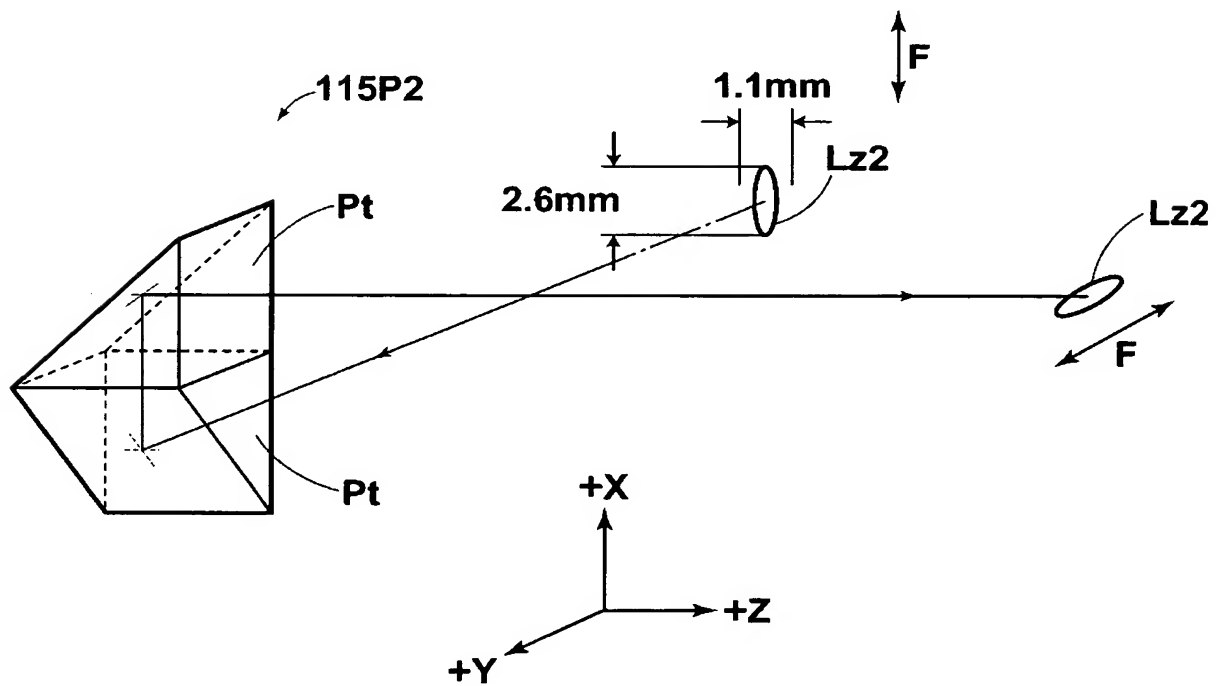
【図 18】



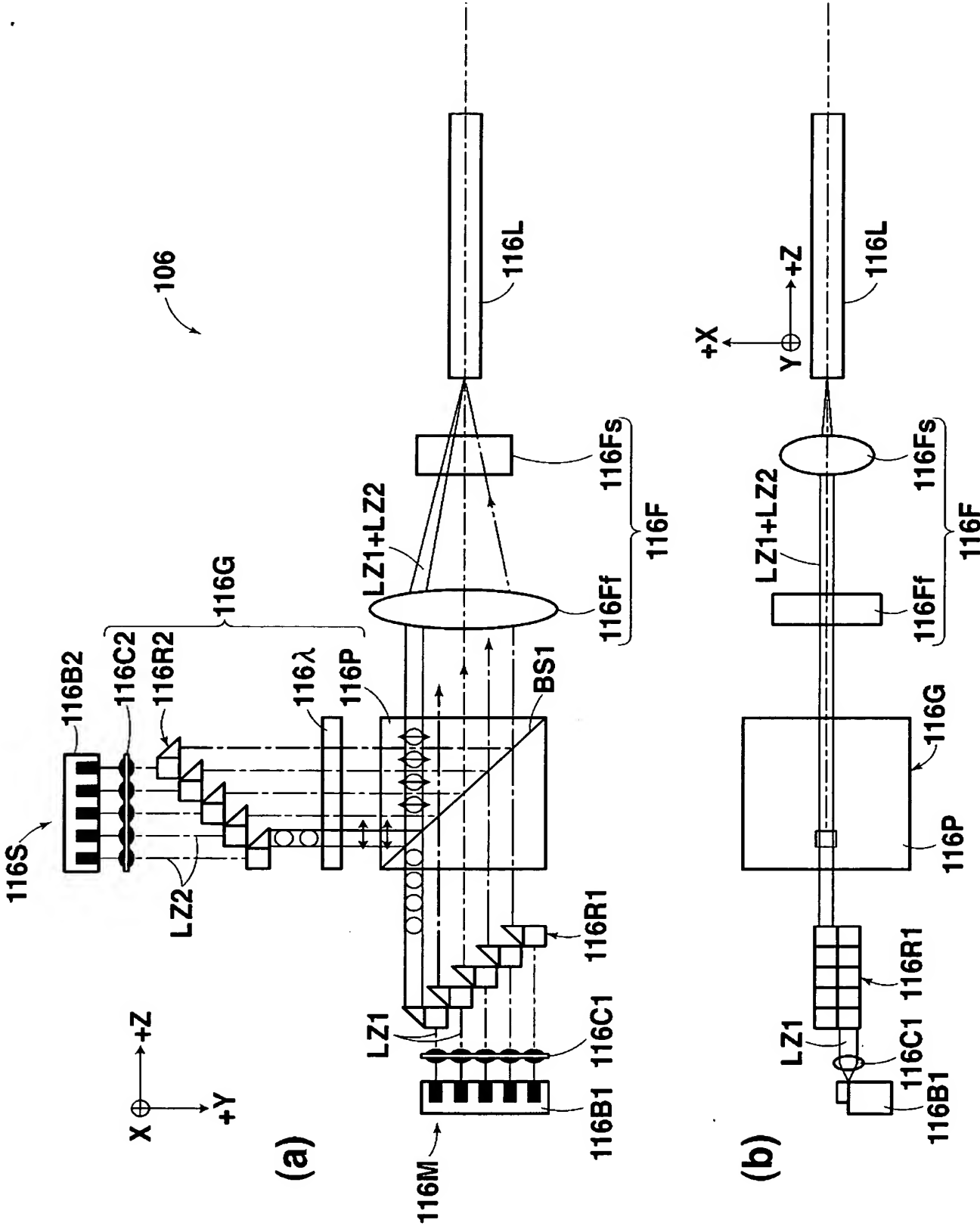
【図 19】



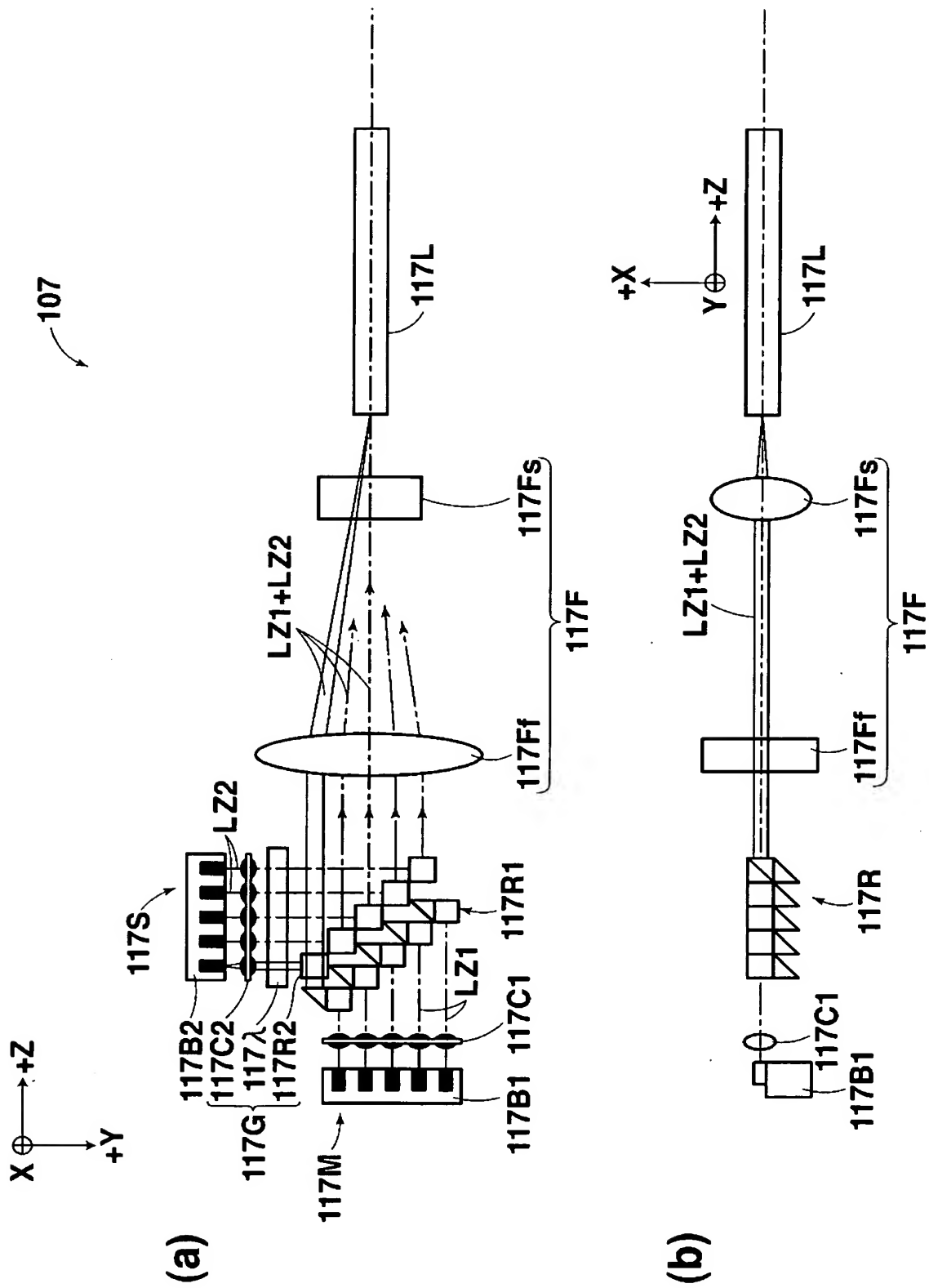
【図 20】



【図 21】

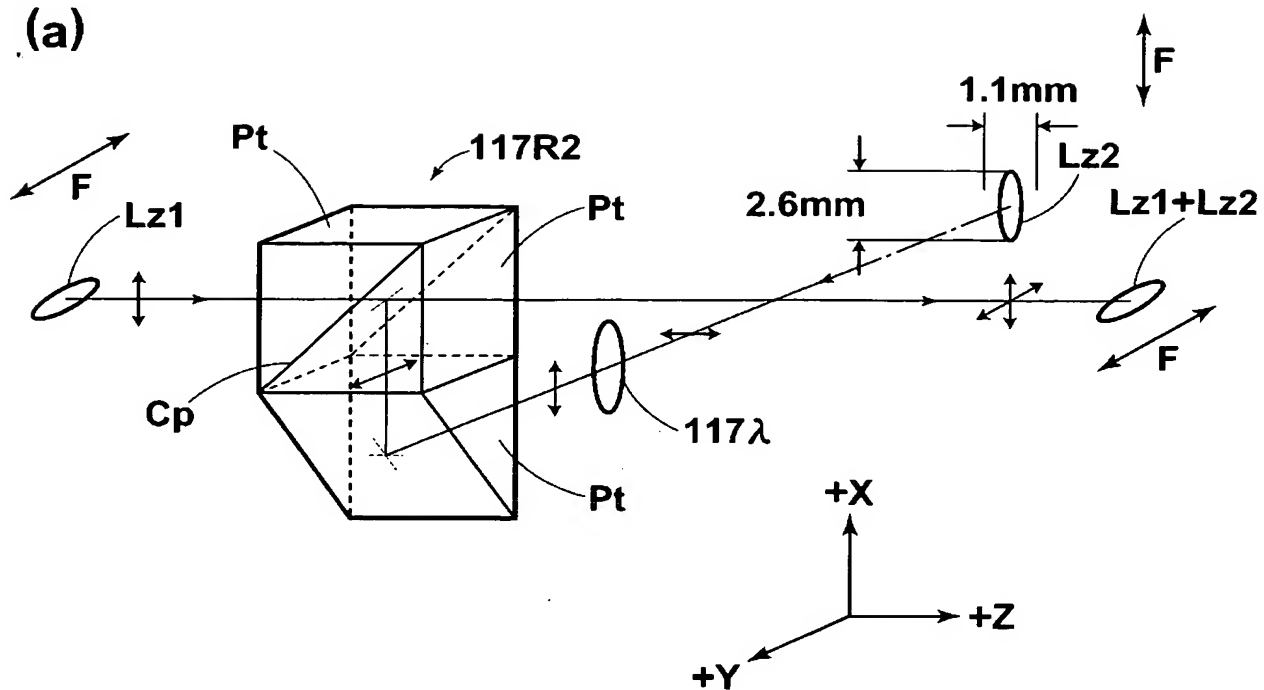


【図 22】

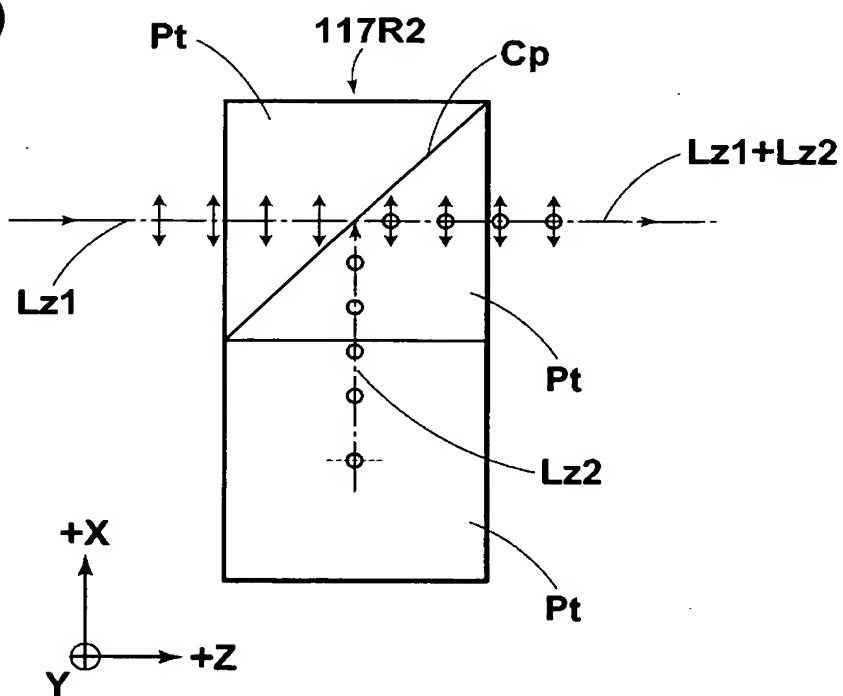


【図 23】

(a)

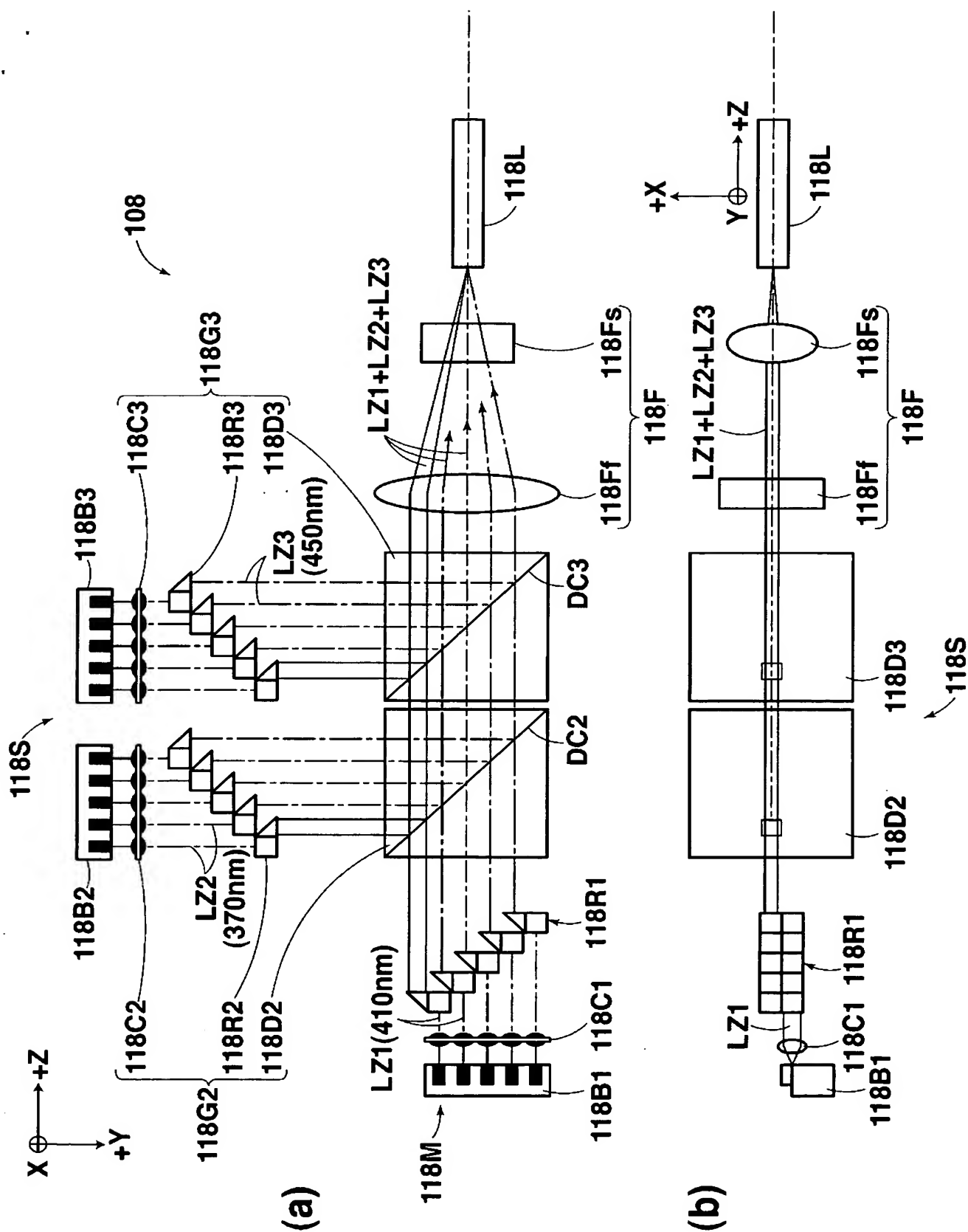


(b)

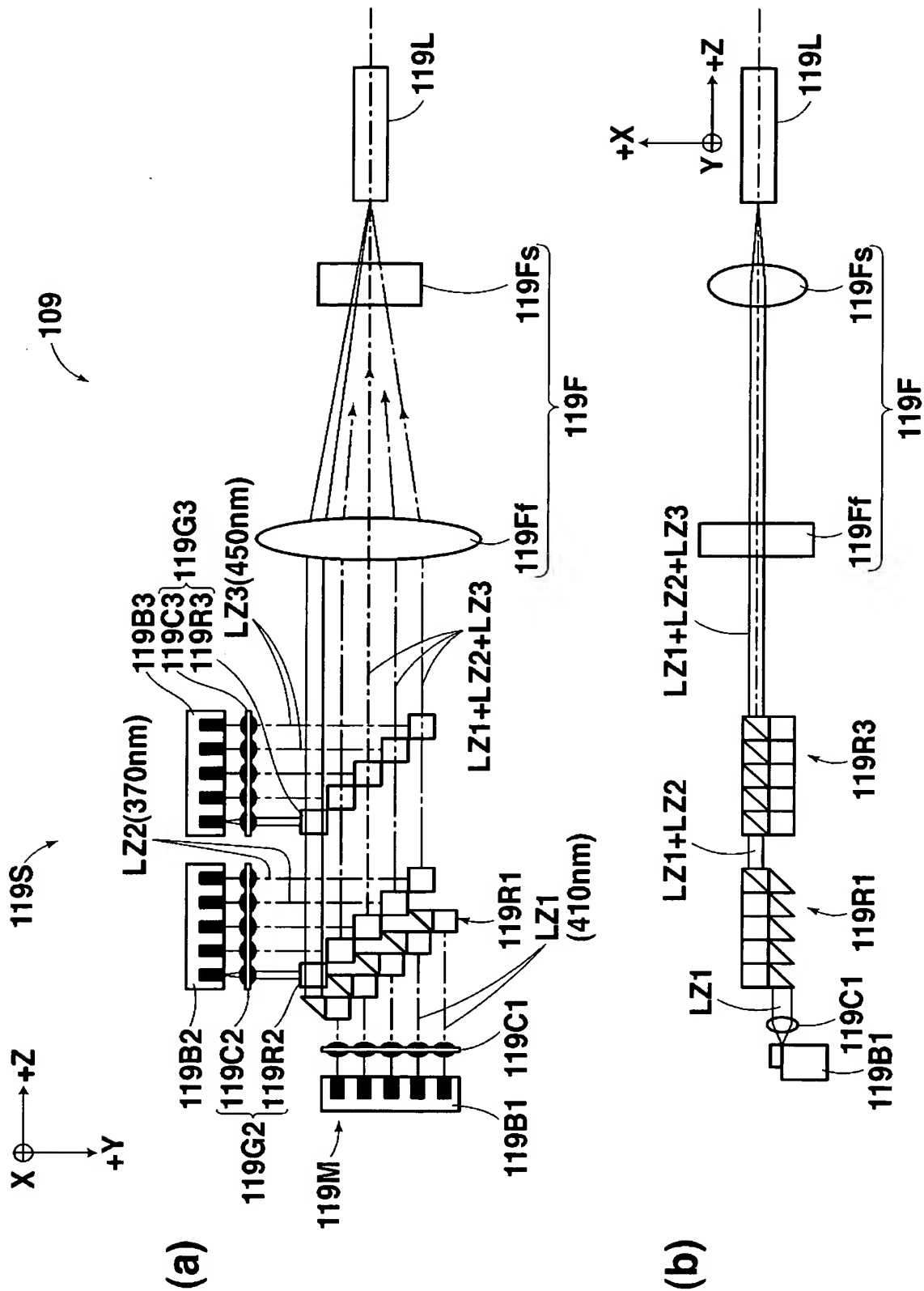




【図 2 4】

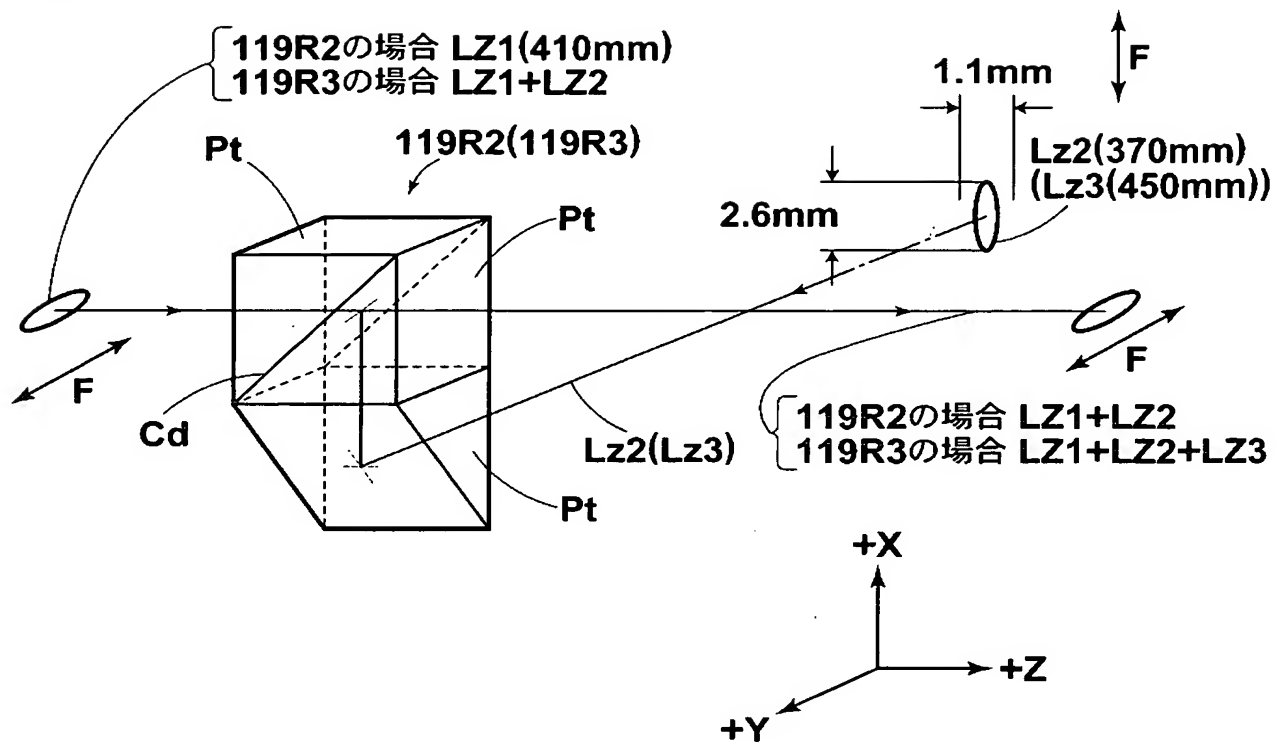


【図 25】

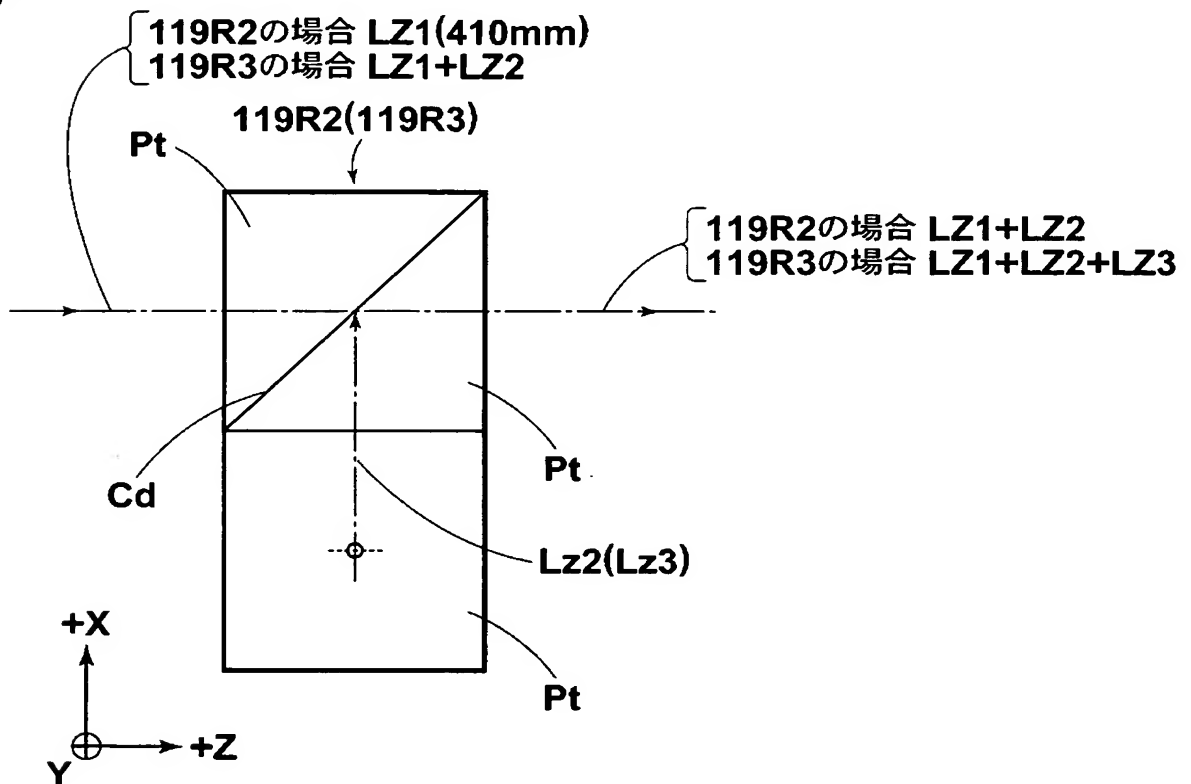


【図 26】

(a)



(b)



【図 27】

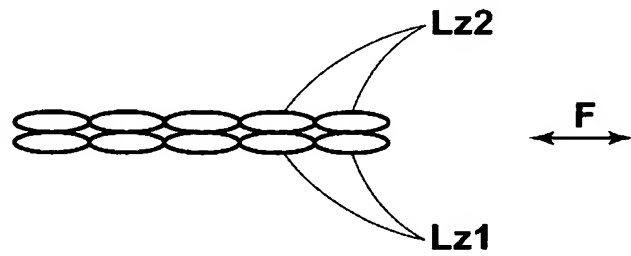
(a) Ex 1,2,6,7,8,9



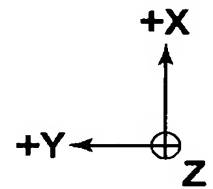
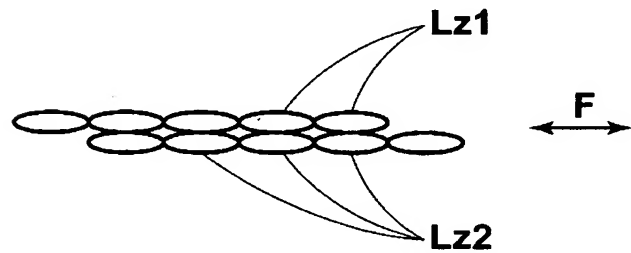
(b) Ex 3



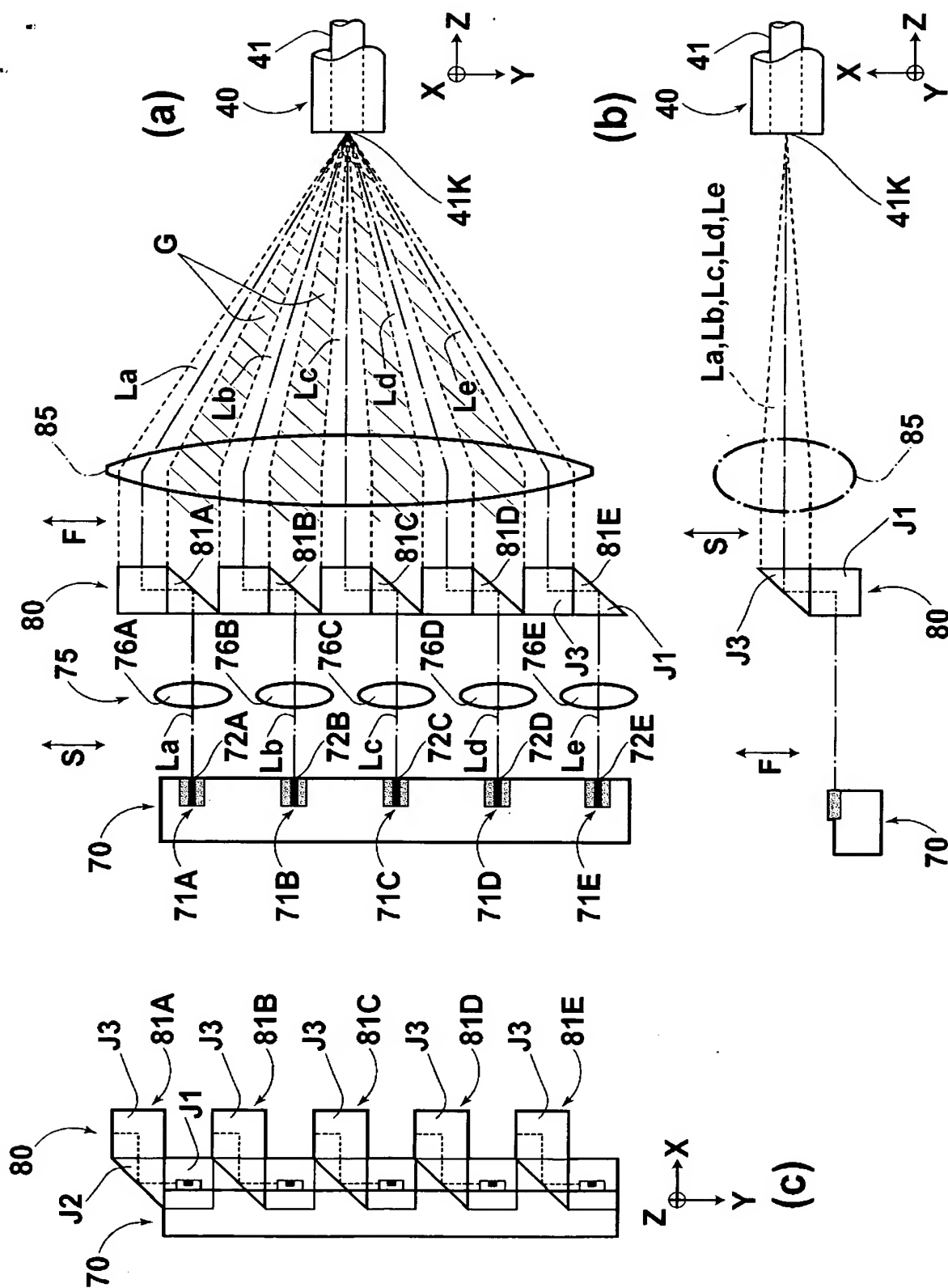
(c) Ex 4



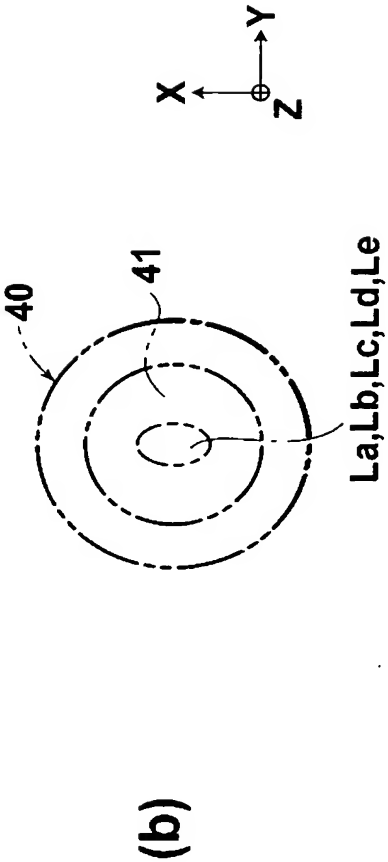
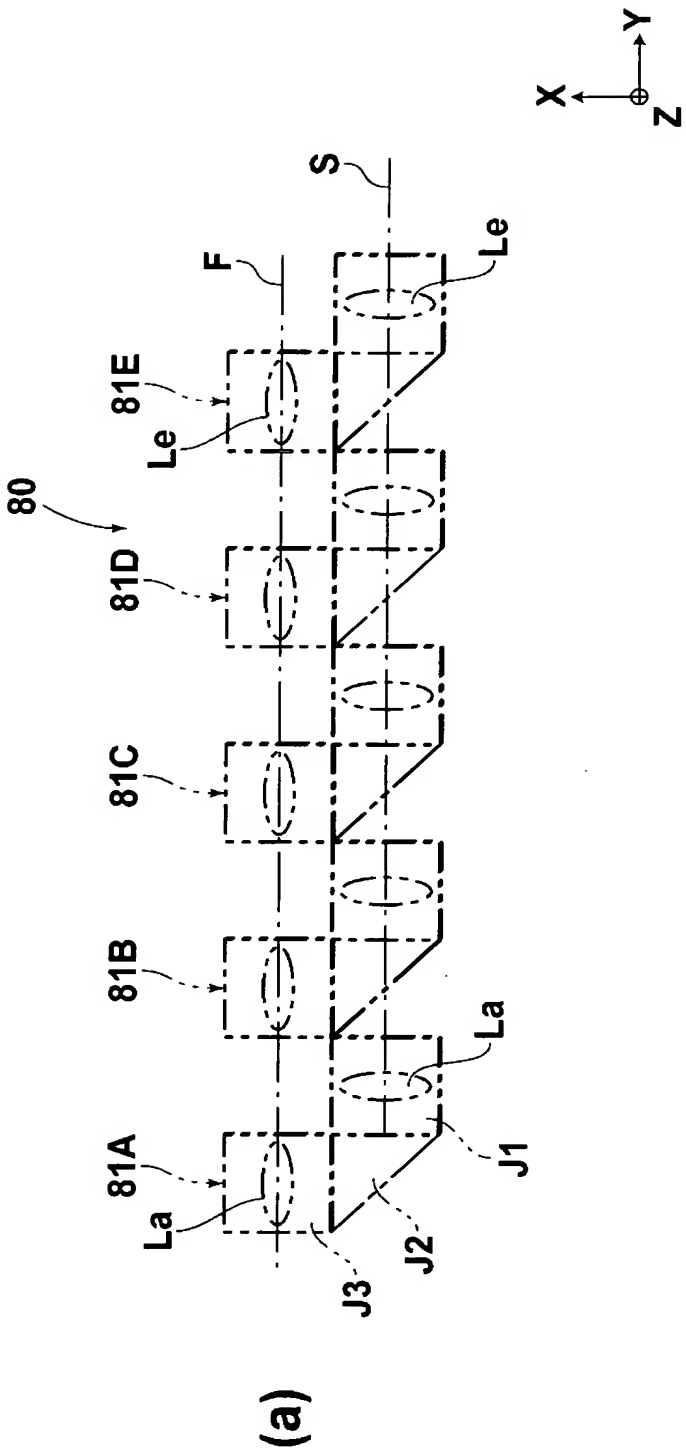
(d) Ex 5



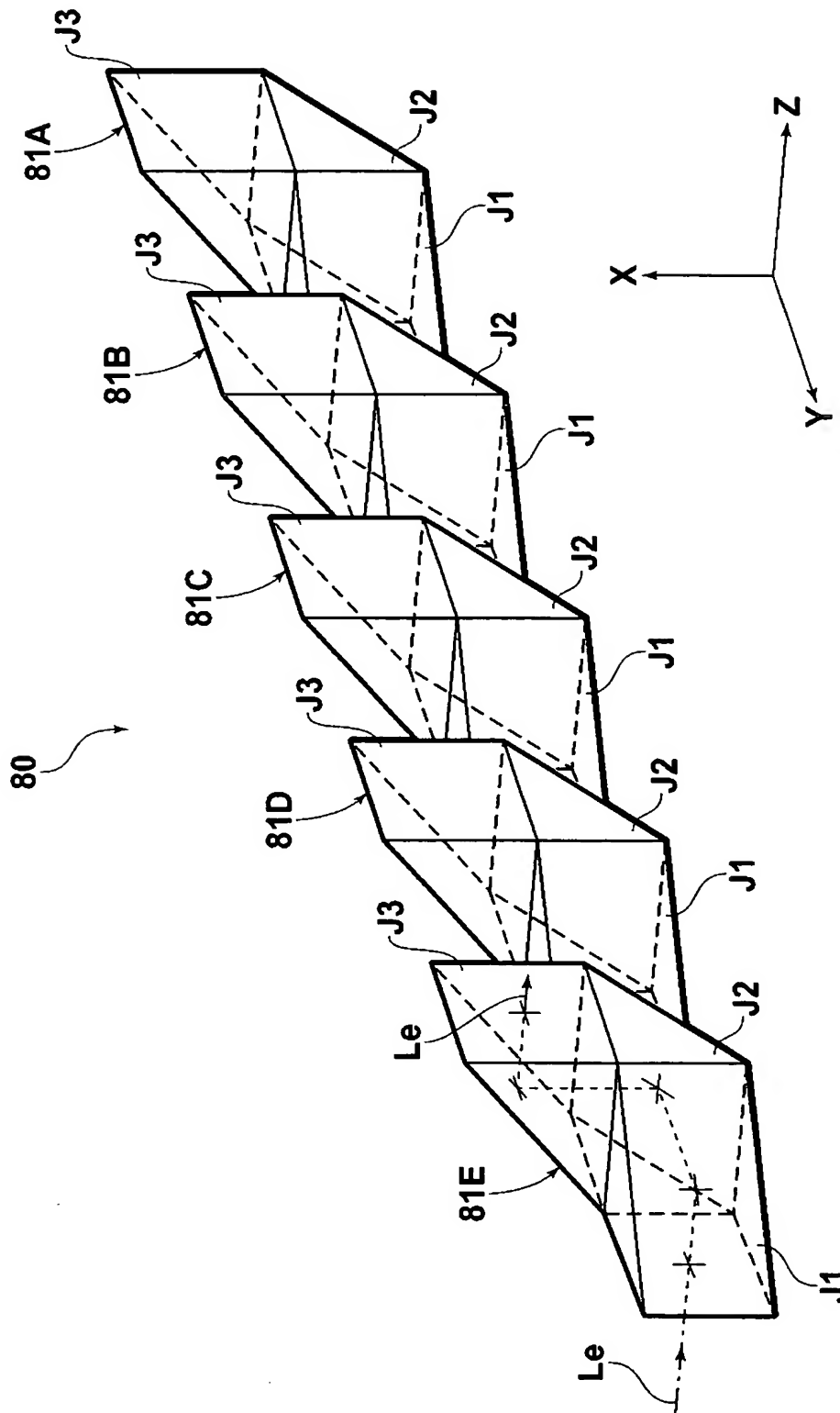
【圖 28】



【図 29】



【図 30】



## 【書類名】 要約書

## 【要約】

【課題】 レーザ光合波装置において、装置サイズの増大を抑え、かつ、レーザ光の利用効率を低下させることなく光束の全体を高い結合効率で合波させる。

【解決手段】 複数の半導体レーザ 1 1 A、1 1 B、1 1 C…から射出された各光束を、コリメート光学系 2 0 により互いに平行な光軸を持ち同一平面上にスロー軸を有する平行光束にする。各光束毎に配置された複数のプリズム 3 1 A、3 1 B、3 1 C…からなる光束再配列光学系 3 0 により上記各光束の伝播方向における互いに異なる位置で上記平行光束となった各光束のファスト軸の向きを変更して各ファスト軸が同一平面上に並ぶようにする。収束光学系 2 5 により、ファスト軸が同一平面上に並べられた光束からなる全体光束をスロー軸およびファスト軸方向に収束させて光ファイバ 4 0 に入射させる。

【選択図】 図 1



## 認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 4 - 0 0 2 2 3 8
受付番号	5 0 4 0 0 0 1 8 7 4 5
書類名	特許願
担当官	第二担当上席 0 0 9 1
作成日	平成 1 6 年 1 月 1 3 日

## &lt; 認定情報・付加情報 &gt;

【提出日】 平成16年 1月 7日

## 【特許出願人】

【識別番号】 000005201

【住所又は居所】 神奈川県南足柄市中沼 2 1 0 番地

【氏名又は名称】 富士写真フイルム株式会社

## 【代理人】 申請人

【識別番号】 100073184

【住所又は居所】 神奈川県横浜市港北区新横浜 3 - 1 8 - 3 新横浜 K S ビル 7 階

【氏名又は名称】 柳田 征史

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100090468

【住所又は居所】 神奈川県横浜市港北区新横浜 3 - 1 8 - 3 新横浜 K S ビル 7 階

【氏名又は名称】 佐久間 剛

特願 2 0 0 4 - 0 0 2 2 3 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 2 0 1 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

神奈川県南足柄市中沼 2 1 0 番地

氏 名

富士写真フイルム株式会社